



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

DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA

Richard Gustavo San José Pérez

Asesorado por el Ing. Edwin Waldemar Sajquim Estacuy

Guatemala, agosto de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN
PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2KV) DEL
AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

RICHARD GUSTAVO SAN JOSÉ PÉREZ

ASESORADO POR EL INGENIERO EDVIN WALDEMAR SAJQUIM ESTACUY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

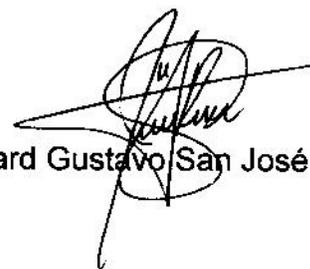
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Quijivix Racancoj
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 12 marzo de 2007.



Richard Gustavo San José Pérez

Guatemala, 16 de julio del 2007.

Ingeniero:
Ángel Roberto Sic
Coordinador de Unidad de Practica de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

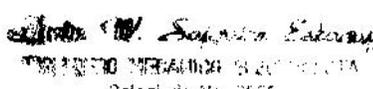
Estimado Ing. Sic:

Por este medio deseo hacer constar que he tenido la oportunidad de supervisar y asesorar la ejecución del Trabajo de Graduación de Ejercicio Profesional Supervisado titulado DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2 KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA previo a optar el título de Ingeniero Electricista del Bachiller Richard Gustavo San José Pérez.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo,

Atentamente,


Ing. Edvin Waldemar Sajquim Estacuy
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado No. 2535


INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Colegiado No. 2535



Guatemala, 17 de julio de 2007
Ref. EPS. C. 411.07.07

Ing. Angel Roberto Sic García
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Sic García.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **RICHARD GUSTAVO SAN JOSÉ PÉREZ**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, titulado **"DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2 KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA"**.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Dá y Enseñad a Todos"

Ing. Kenneth Estrada Ruiz
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica – Eléctrica



KIER/jm



Ing. Renato Escobedo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Guatemala, 18 de julio de 2007
Ref. EPS. C. 411.07.07

Estimado Ingeniero Escobedo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2 KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA”**.

Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario, **RICHARD GUSTAVO SAN JOSÉ PÉREZ**, quien fue asesorado por el Ing. Edwin Waldemar Sajquim Estacuy y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del asesor y supervisor, en mi calidad de Director apruebo su contenido; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“D y Enseñad a Todos”

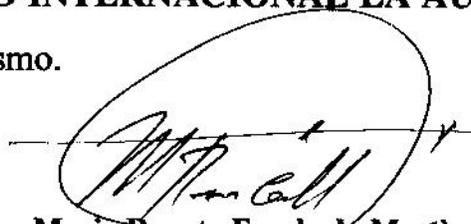
Ing. Angel Roberto Sic García
Director Unidad de EPS



ARSG/jm



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **RICHARD GUSTAVO SAN JOSÉ PÉREZ** titulado: **DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSION (13.2 KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
DIRECTOR



GUATEMALA, 30 DE JULIO 2,007.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y MONTAJE DE RED DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE MEDIA TENSIÓN (13.2 KV) DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**, presentado por el estudiante universitario **Richard Gustavo San José Pérez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, agosto de 2007



ACTO QUE DEDICO A:

DIOS Y LA VIRGEN MARIA	Por iluminarme y darme sabiduría día con día.
MIS PADRES	Gustavo San José y Verónica Pérez, por su apoyo y por ser la guía en mi camino, este logro es también de ellos.
MIS ABUELOS	Con todo Cariño.
MI ESPOSA	Elizabeth, con todo mi amor, por el apoyo y comprensión para cumplir mis metas.
MIS HIJOS	Por ser mi motivo de lucha para seguir adelante.
MIS HERMANOS	Luis, William y Patrick, por todo su apoyo.
MI FAMILIA	Con profundo amor y cariño.
MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO	Gracias por todo.
MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO Y AMIGOS	Con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Mecánica eléctrica

Por ser la fuente de mis conocimientos.

Dielcom, s.a y Siemens

Por permitirme realizar este tema y brindarme la oportunidad de mi formación profesional.

Ingeniero Edvin Waldemar Sajquim

Por su apoyo y dirección.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV

1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEA

1.1. Factores a considerar en la elección del sistema subterráneo	1
1.1.1. Consideraciones técnicas y económicas	2
1.1.2. Consideraciones de confiabilidad del servicio	5
1.1.3. Consideraciones especiales de interés público	6
1.2. Características de los sistemas de distribución subterráneo	6

2. CABLES

2.1. Tipos de cables	9
2.1.1. Cable unipolar	10
2.1.2. Cable multipolar	14
2.1.3. Cable aislado multipolar trenzado	16
2.2. Aislamientos	19
2.3. Consideraciones básicas de diseño	24
2.4. Requisitos mínimos de los conductores	26
2.5. Aplicación de los conceptos anteriores en el diseño del anillo de media tensión Aeropuerto Internacional La Aurora	31

3. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEA	
3.1. Selección de voltaje	33
3.2. Selección del tamaño de la carga	34
3.3. Selección del tipo de distribución subterránea	35
3.3.1. Sistema radial	35
3.3.2. Sistema en anillo	37
3.3.3. Sistema en red	39
4. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS SUBESTACIONES EXISTENTES	
4.1. Tipos de subestación	41
4.2. Accesos de alimentación	47
4.3. Porcentaje de carga instalada	50
5. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN	
5.1. Red de alimentación a Utilizar	51
5.2. Tipo de distribución a utilizar	52
5.3. Tipo de subestaciones y celdas de media tensión a utilizar	55
6. CELDAS DE MEDIA TENSIÓN A UTILIZAR PARA LAS DIFERENTES SUBESTACIONES Y SISTEMA DE RESPALDO	
6.1. Celdas con seccionador tripolar	61
6.1.1. Generalidades	61
6.1.2. Aplicaciones	61
6.1.3. Celdas de seccionador	61
6.1.4. Celdas de acoplamiento a transformador	62
6.1.5. Celdas de medición	63
6.1.6. Celdas de transición	63
6.1.7. Celda de acometida	63

6.1.8. Protecciones	63
6.2. Celdas de media tensión para sistema de respaldo	69
7. DATOS Y TIPOS DE CARGA A CONSIDERAR	
7.1. Resumen de cargas	79
7.2. Separación de cargas por cada subestación	84
7.3. Calculo del conductor subterráneo	84
8. NORMAS APLICABLES A UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEO	89
9. PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN	97
10. PLANOS	103
10.1. Diagrama unifilar proyectado	105
10.2. Diagrama unifilar subestaciones antiguas	107
10.3. Red de distribución	109
10.4. Fosas	111
10.5. Registros	113
10.6. Celdas de media tensión	115
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Cable de potencia de dieléctrico extruido EP o XLP 5, 15, 25 y 35 KV	11
2. Cable Multipolar EP o XLP, 5 a 35 KV	15
3. Diferentes configuraciones de cables de potencia	16
4. Cable de potencia triplex EP o XLP 5 a 35 KV	18
5. La configuración radial y algunas de sus variantes	36
6. Diagrama unifilar de una configuración anillada simple	38
7. Diagrama unifilar de un sistema dual	40
8. Placa de identificación transformador 1000KVA	42
9. Placa de identificación transformador 250KVA	43
10. Subestación tipo unitaria existente.	43
11. Celda de entrada primaria	44
12. Interruptor principal	44
13. Barras 480V	44
14. Planta de emergencia existente	44
15. Alimentación subestación tipo bóveda	45
16. Subestación tipo bóveda de 3X100KVA	46
17. Medición de algunos comercios y líneas aéreas	46
18. Número de identificación de poste	47
19. Punto de entrega	48
20. Accesos de alimentación	49
21. Accesos de alimentación	50
22. Proceso de construcción de cajas registro tipo H	53
23. Caja de registro tipo H para media tensión	54
24. Proceso de introducción de tuberías para anillo de media tensión Finger Norte	54

25. Bandas de aluminio	57
26. Ventiladores radiales de transformador instalado en subestación 2 Finger Norte	59
27. Celdas baja tensión subestación 3 Finger Norte	60
28. Interrupción de la corriente de corto circuito	64
29. Apartarrayos	67
30. Celdas media tensión en subestación 3 Finger Norte	67
31. Celdas media tensión en subestación 3 Finger Norte	68
32. Fusibles y terminaciones en celda de salida a transformador subestación 3 Finger Norte	68
33. Anillo de alimentación de subestaciones	84
34. Proceso de construcción de fosas en subestaciones	97
35. Proceso de montaje mecánico de equipos en subestaciones	98
36. Proceso de alambrado del anillo de media tensión 13.2 KV.	99
37. Proceso de alambrado de media y baja tensión de transformadores	100

TABLAS

I Ampacidades de cables URD 15KV	13
II Capacidad y ubicación de subestaciones	56
III Selección de fusibles	66
IV Resumen de cargas subestación 1	79
V Resumen de cargas subestación 2	80
VI Resumen de cargas subestación 3	80
VII Resumen de cargas subestación 4	81
VIII Resumen de cargas subestación 5	82
IX Resumen de cargas subestación 6	82
X Resumen de cargas subestación 7	83
XI Resumen de cargas subestación 8	83

XII Cálculo distancia-cargas	85
XIII Profundidades de enterramiento	90

GLOSARIO

Epoxi	Resina que se endurece por la acción del aire, convirtiéndose en un sólido de aspecto amorfo.
Extruido	Paso a presión de un metal fundido o de una masa plástica a través de una hilera.
Coraza	Armadura o blindaje que se aplica sobre cada uno de los conductores aislados con el fin de confinar el campo eléctrico al interior del cable y limitar la influencia mutua entre cables próximos.
Pad-mounted	Transformador sumergido en aceite de montaje en plataforma o pedestal.
Prime power	Potencia que brinda un generador trabajando de forma continua.
Rigidez dieléctrica	La diferencia de potencial que soporta un dieléctrico sometido a una descarga eléctrica en un condensador bajo efectos de una tensión.

Semiconductor	Elementos sólidos que presentan una conductibilidad electrónica menor que la de los metales.
Subestación eléctrica	Conjunto de equipos e instalaciones que forman parte de un sistema eléctrico.
URD	Descripción de conductores de media tensión para distribución residencial subterránea y que significa: U nderground R esidencial D istribution
XLP	Aislante utilizado en conductores de media tensión y que significa polietileno de cadena cruzada, Cross (X)- L inked P olyethylene.

RESUMEN

El aeropuerto internacional La Aurora en su remodelación y ampliación cuenta con ocho nuevas subestaciones eléctricas, las cuales dotan de energía, los diferentes edificios (Finger central, Finger Norte y Terminal aérea), así como sus dieciocho nuevos puentes de abordaje, dichas subestaciones están alimentadas en un voltaje de distribución de 13.2 KV, el sistema utilizado para la alimentación de cada una de ellas es un sistema en anillo, esencialmente es un circuito que llega a las cargas individuales para seguidamente regresar a la fuente, este puede seccionarse por medio de las celdas localizadas en cada subestación.

En caso de una falla en cualquiera de los conductores entre las subestaciones se podrá solventar temporalmente alimentándola por el otro extremo al cerrar los seccionadores adecuados, lo cual implicará que el total de la corriente de carga fluya por el cable en buen estado.

Así pues, el sistema en anillo es un modelo que brinda grandes ventajas de continuidad y seguridad de energización aun con una falla en los conductores o en alguna de las subestaciones.

La red de distribución subterránea se realizó con tubería de cloruro de polivinilo (PVC), 125 PSI con revestimiento de concreto pobre para su protección. El banco de tuberías esta formado por ocho tubos de los cuales uno servirá para la media tensión circuito de alimentación, otro para el circuito de retorno y los demás de reserva. Por la magnitud del proyecto y por previsión se ha dejado contemplado un buen porcentaje de reserva en la cantidad de tubería pues una vez terminada la canalización se fundirá un piso de aproximadamente 30 cms, de espesor que complicaría enormemente cualquier ampliación o

modificación posterior. A cierta distancia se localizan cajas de registro tipo H, las cuales nos facilitan el proceso de cableado y también el mantenimiento del mismo.

El cable utilizado para la construcción del anillo de media tensión es del tipo URD XLPE calibre 2/0, este fue calculado en base al total de carga de las subestaciones, tanto por el método de limitación térmica como por caída de tensión.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar un diseño óptimo, confiable y seguro que permita realizar el montaje de la mejor manera, logrando una efectiva energización de los diferentes puestos de transformación con que contara el nuevo Aeropuerto Internacional La Aurora.

ESPECÍFICOS

1. Analizar y describir las características principales para el desarrollo de un diseño eléctrico.
2. Documentar las técnicas, lineamientos y procedimientos que son necesarios en un montaje eléctrico.
3. Conocer y familiarizarse con todo tipo de material eléctrico que existe en el medio industrial.
4. Conocer la actual situación de las instalaciones eléctricas del Aeropuerto básicamente sus subestaciones y así poder encontrar la forma óptima de la red de alimentación del nuevo proyecto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Aeropuerto Internacional La Aurora cuenta con dos subestaciones eléctricas que brindan la energía para el funcionamiento del mismo, en la presente remodelación y ampliación de las nuevas instalaciones contara con ocho subestaciones eléctricas capacitadas para brindar energía a los dieciocho nuevos puentes de abordaje, así como toda la iluminación y fuerza necesaria para el buen funcionamiento de un aeropuerto.

La alimentación para estas nuevas subestaciones eléctricas se realizara por medio de un sistema en anillo, modelo que brinda grandes ventajas de continuidad y seguridad de energización, este se realizara a un nivel de voltaje de media tensión (13.2KV).

Las empresas suministradoras de energía eléctrica en nuestro medio brindan este nivel de voltaje para distribución, por lo tanto los equipos que se instalaran son bastante comerciales, lo cual brinda ventajas en caso de reparación o cambios inmediatos.

1. SISTEMA DE DISTRIBUCION SUBTERRANEO

Actualmente por razones de seguridad, estética, eficiencia y economía en los gastos de mantenimiento se hacen las distribuciones eléctricas en forma subterránea aunque esto represente un desembolso en montaje varias veces mayor que si la distribución fuera aérea.

Una distribución subterránea básicamente esta conformada por tubería para las canalizaciones, cajas de registro; las cuales están unidas por tuberías, cable subterráneo, bóvedas y fosas.

En este caso únicamente se hablara de los cables subterráneos y celdas de transición necesarios para el tipo de conexión a utilizar.

1.1 Factores a considerar en la elección del sistema subterráneo

Normalmente, el costo de una construcción subterránea es mayor que el de una construcción aérea equivalente; razón por la cual los sistemas subterráneos se ven restringidos, casi en su totalidad, a aquellos lugares donde el factor económico no es el de mayor importancia. La decisión de utilizar un sistema subterráneo dependerá de la importancia relativa de una o más de las siguientes consideraciones:

- La densidad de la carga en el distrito a servir.
- Disponibilidad y costo de los derechos de vía (en este caso en particular no aplica ya que la distribución se realizara dentro de la propiedad del usuario).

- Presencia de obstáculos físicos, los cuales no puedan ser prácticamente sobrepasados con líneas aéreas.
- La importancia de la línea o red de distribución y la conveniencia de tomar precauciones para protegerla de daños mecánicos.
- La estética de las calles.
- Leyes públicas y reglamentos.
- Proximidad a los aeropuertos y otras construcciones de interés.
- El costo de construcción y de mantenimiento.
- La seguridad pública.

Como vemos las consideraciones para seleccionar o no un sistema subterráneo son diversas y dependen de cada problema en particular siendo distintas para cada caso. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se pueden agrupar en tres categorías generales:

- Consideraciones de carácter técnico y económico.
- Aquellas que consideran la confiabilidad del servicio y otras características de la construcción subterránea.
- Cuando consideraciones especiales de interés público va antes que las consideraciones del tipo técnico y económico.

1.1.1 Consideraciones técnicas y económicas

Una responsabilidad primordial del ingeniero de transmisión y distribución, consiste en evaluar el costo de todas las construcciones propuestas y especificar el tipo de servicio requerido. Para la mayor parte de los casos, la instalación aérea será más barata que la subterránea, pero cuando esta no cumple con los requerimientos de seguridad, ornato, leyes establecidos, etc., o

bien existen obstáculos físicos que impiden su construcción, tendrá que usarse la instalación subterránea pese a su mayor costo. Sin embargo este costo se puede reducir en aquellos casos en los cuales se pueden combinar ambos sistemas: aéreo y subterráneo.

Los cables subterráneos reducen su capacidad de transporte de energía por unidad de sección transversal debido a las limitaciones térmicas impuestas por su aislante y por las condiciones del suelo. Los registros, ductos, tubería, transformadores y otro equipo especial para servicio subterráneo, junto con un diseño mas elaborado por parte del ingeniero, contribuyen también al aumento del costo.

Los cables subterráneos tienen una capacidad máxima de transporte de corriente bien definida, debido a las limitaciones térmicas de su aislante; consecuentemente no poseen la habilidad de soportar con seguridad sobrecargas extremas durante emergencias, la cual es característica de los conductores aéreos. La porción de cable del sistema subterráneo debe por consiguiente ser diseñado con un exceso apropiado de capacidad por encima de lo normalmente requerido, para que así pueda sobrellevar las situaciones de emergencia sin exceder sus temperaturas permisibles de operación.

Los gastos de operación y mantenimiento son también usualmente mayores en los sistemas subterráneos; pues aunque las fallas no son muy frecuentes, estas requieren de personal especializado, equipo para remover e instalar cables, y mayor tiempo para localizarlas y repararlas que el requerido en un sistema aéreo. Así pues, las consideraciones basadas en el costo tienden a dirigir la elección del tipo de instalación hacia la construcción aérea. Sin embargo las condiciones locales deben ser consideradas cuidadosamente,

y algunas veces son tales, que modifican la elección. En muchas localidades la construcción subterránea puede llegar a ser necesaria.

La construcción subterránea es a menudo necesaria en áreas urbanas de alta densidad de carga, donde la falta de espacio y el congestionamiento de edificios restringen grandemente la instalación de líneas aéreas. Es aquí donde la instalación subterránea permite tender cualquier número razonable de circuitos, de cualquier voltaje de operación, a través de las vías públicas. En muchos países donde es difícil adquirir derechos de vía privados para la transmisión y subtransmisión, se puede recurrir al uso de vías públicas para transmitir en forma subterránea hasta los puntos donde la compilación de los múltiples circuitos de distribución, se puede encontrar en la vecindad de las mayores subestaciones de distribución; en cuyo caso puede ser necesario el tender los circuitos de distribución en forma subterránea por una distancia suficiente para que estos se separen en diferentes rutas donde ya puedan ser acomodados en forma aérea.

Muchos tipos de obstrucciones para las líneas aéreas pueden ser vencidas mediante el uso de cables subterráneos. El uso de cables en ductos y en tubería son métodos aceptables para llevar circuitos a través de zonas cercanas a los aeropuertos, a través de túneles y puentes donde las líneas aéreas no pueden ser consideradas y donde, o no existen otras alternativas de rutas, o bien estas son antieconómicamente largas.

El cable submarino y el cable en tubería son también las soluciones para cruzar grandes extensiones de agua, evitando así líneas aéreas muy largas o estructuras excesivamente altas para poder cruzar la región en forma aérea.

1.1.2 Consideraciones de confiabilidad del servicio y otras ventajas de la construcción subterránea.

Desde el punto de vista de la confiabilidad del servicio, la relativa inmunidad de los sistemas subterráneos a los múltiples peligros que en un sistema aéreo son las causas más frecuentes de interrupción, es una consideración de suma importancia a favor de la construcción subterránea. En aquellas instalaciones donde se requiera el más alto grado de confiabilidad en el servicio, el sistema subterráneo ofrecerá protección contra muchos inconvenientes como tormentas, vientos fuertes, interferencia de árboles, descargas atmosféricas, accidentes de tránsito, incendios y las formas más comunes de vandalismo. Así pues, solo el más alto grado de construcción aérea se compara favorablemente en confiabilidad de servicio con la ofrecida por el sistema subterráneo; sin embargo, habrá que tener en cuenta que las interrupciones en un sistema de cables debidas a mantenimiento o reparaciones son de mayor duración.

El completo aislamiento entre circuitos logrado a través de un diseño adecuado de ductos y registros reduce grandemente la probabilidad de interferencia entre circuitos o bien, que más de un circuito sea afectado por interferencia externa. Por otra parte, el costo relativamente bajo de instalar ductos extras a la hora de construir una línea de ducto subterráneo, y la facilidad de instalar cables adicionales de vez en cuando sin que estos interfieran con los circuitos que ya están operando, es una económica previsión conveniente para futuros crecimientos de carga y expansiones del sistema.

1.1.3 Consideraciones especiales de interés público.

Los diseñadores deberán conocer las leyes y acuerdos relativos a construcciones permisibles en los diferentes sectores. A veces estas regulaciones restringen la mejor alternativa técnica para el sector con lo que podría resultar un mayor costo, o bien un servicio deficiente. También se deberá tener en cuenta que sea cual fuere el tipo de construcción a realizar, esta deberá causar los menores inconvenientes a la comunidad a la hora de construirla.

Frecuentemente se encuentran dificultades a la hora de querer construir una subestación de distribución en una zona residencial, pues la concentración de circuitos de alimentación y distribución en forma aérea, causa antipatía pública. Este es un caso solucionable con una construcción subterránea, aun cuando la construcción aérea resulte practica, tanto desde el punto de vista técnico, como legal. También existen aquellos casos en los cuales es un decisión acertada el evitar líneas aéreas, aun cuando estas sean permitidas legalmente, como en zonas cercanas a los aeropuertos.

1.2 Características de los sistemas de distribución subterráneos

Los sistemas de distribución subterráneos cumplen con la misma función esencial que los sistemas de distribución aéreos; sin embargo, existen características propias de cada uno de estos que deben ser conocidas.

El sistema subterráneo difiere sustancialmente del sistema aéreo en el hecho de que sus resistencias y reactancias son usualmente mucho menores, debido a la mayor sección transversal de sus cables y su aislamiento especial.

Consecuentemente, la caída de voltaje es normalmente menor que el sistema aéreo llegando a ser ocasionalmente una consideración de importancia.

Los sistemas de distribución subterráneo están generalmente libres de interferencias naturales y publicas, pero se requiere mayor tiempo para localizar y reparar una falla que en el sistema aéreo. También es característica inherente al sistema subterráneo el tener que proveer espacio, instalaciones y equipo suficientes para muchos años futuros, lo cual aumenta el costo inicial de construcción.

Entre las características de los sistemas subterráneos, su mayor costo comparado con el sistema aéreo, es algo que no se puede dejar de mencionar. Sin embargo, en muchos países se observa un rápido crecimiento de los mismos, debido a que existe un mayor interés en las comunidades residenciales por la apariencia estética. Por otra parte, la diferencia de costos en comparación al sistema aéreo se ha reducido considerablemente en los últimos años debido a la fabricación de cables de dieléctrico sólido los cuales pueden ir directamente enterrados, terminaciones y empalmes de bajo costo los cuales son fácilmente instalados, y a la masiva producción de equipo especializado como transformadores de plataforma (tipo pad-mounted) y accesorios.

Hemos mencionado las principales características de tipo general que se deben conocer sobre el sistema de distribución subterráneo; sin embargo, existen muchas otras que por su carácter de tipo técnico son presentadas en capítulos posteriores de este mismo estudio.

2. CABLES

2.1 Cables para líneas subterráneas

Las distintas partes que constituyen los cables empleados en canalizaciones subterráneas son:

- Conductores. Generalmente son cableados y su misión es conducir la corriente.
- Capa semiconductor. El conductor se recubre de una capa semiconductor, cuya misión es doble. Por una parte, impedir la ionización del aire, que en otro caso se produciría en la superficie de contacto entre el conductor metálico y el material aislante. Y por otra, mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor.
- Aislante. Cada conductor lleva un envolvente aislante, de diferentes características, según el tipo de cable. Se emplea generalmente papel impregnado en aceite mineral o aislantes secos como son el policloruro de vinilo, el polietileno, el polietileno reticulado, el caucho natural o sintético y el etileno-propileno.
- Pantalla. Se aplica una pantalla sobre cada uno de los conductores aislados con el fin de confinar el campo eléctrico al interior del cable y limitar la influencia mutua entre cables próximos. La pantalla está constituida por una envoltura metálica de cobre. Permite una capacidad de cortocircuito elevada y una impedancia uniforme.
- Rellenos. Su misión es dar forma cilíndrica al conjunto de los tres conductores.

- Armadura: Es un envolvente constituido por cintas, pletinas o alambres metálicos.
- Cubierta. Recubre exteriormente el cable, protegiendo la envoltura metálica de la corrosión y de otros agentes químicos.

Según su configuración, los cables subterráneos se pueden dividir en unipolares y multipolares. Con respecto al campo, se clasifican en radiales y no radiales. Y según el aislamiento en cables con aislamiento sólido y cables con aislamiento sólido y aceite.

2.1.1 Cable unipolar

Este cable se ha empleado en corriente continua, pero en la actualidad se emplea mucho en muy alta tensión. Está constituido por una sola alma, que casi siempre es de sección circular. Los aislamientos y la protección son similares al cable multipolar.

En los últimos años, los aumentos en la demanda de potencia han llevado al uso de tensiones cada vez mayores. El problema que se presenta es el de elegir entre cable unipolar y tripolar, dependiendo de los factores económicos, capacidad de transporte y gastos de instalación.

Cables de Dieléctrico Extruido

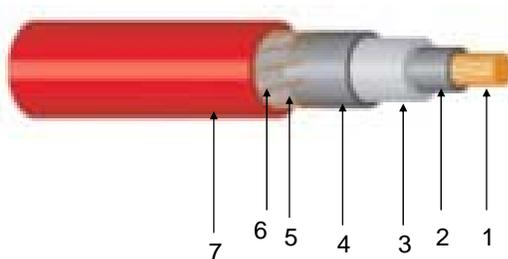
Existen diversos tipos de cables dependiendo de la aplicación requerida, el nivel de voltaje, las condiciones ambientales etc; siendo uno de los tipos más importantes usados en la actualidad los de dieléctrico extruido.

El cable de dieléctrico extruido es mecánica y eléctricamente la forma más simple de cable, libre de la necesidad de aceite, gas, y equipo de presurización. Consiste de un conductor de aluminio o cobre, cubierto por una

pantalla extruida semiconductora sobre la cual se extruye el dieléctrico. Finalmente, se extruye otra pantalla y se cubre con cintas o alambres de cobre enrollados helicoidalmente. El material de la pantalla es plástico con un cierto porcentaje de carbón con lo cual se logra su semiconductividad; siendo la finalidad de la misma el controlar las caídas o gradientes de potencial a través del aislante mediante la modificación del campo eléctrico, finalmente una cubierta exterior o chaqueta de Policloruro de Vinilo (PVC) o Polietileno (PE).

Otra parte de gran importancia en la conformación del cable es el propio aislamiento dieléctrico extruido, el cual en la actualidad se fabrica de materiales termoplásticos como polietileno, el polietileno de cadena cruzada (XLP), y el hule etileno-propileno (EPR), dada la importancia del aislamiento en el cable, este es estudiado separadamente.

Figura 1. Cable de potencia de dieléctrico extruido EP ó XLP 5, 15, 25 y 35 KV



1. Conductor compacto de cobre suave.
2. Pantalla semiconductora extruida sobre el conductor.
3. Aislamiento de EP o XLP 100% nivel de Aislamiento.
4. Pantalla semiconductora extruida sobre aislamiento.
5. Pantalla electrostática a base de alambres de cobre suave.
6. Cinta separadora.
7. Cubierta exterior de policloruro de vinilo (PVC).

Entre los cables de dieléctrico extruido los mas utilizados son aquellos con aislamiento de Polietileno de cadena cruzada; en los Estados Unidos, el mayor volumen de cables subterráneos son de un solo núcleo sin cubierta exterior, mientras que en Suecia la mayoría de cables son diseñados con tres núcleos con una cubierta de PVC. La experiencia obtenida con estos cables ha sido excelente, aun cuando ha habido casos con una alta frecuencia de fallas, las cuales son atribuibles al uso de pantallas del conductor mal confeccionadas o a contaminantes introducidos en el proceso de fabricación.

Tabla I. Ampacidades de cables URD KV

Conductor fase		Neutral		Grosor (Mils)		Diametro (Mils)			Peso por 1000 Pies (lbs)		Ampacidad (Amp 1)		
Calibre (AWG o KCM)	Filamen to	No. Hilos	Calibre AWG	Protector del filamento	Aislamiento . (Min, Avg)	Aislamiento to protector	Cond. Fase sin aislamiento	Aislamiento to excesivo	Cable Comple to	Hilos Neutral	Cable Completo	Directamente enterrado	En Ducto
Conductor de aluminio-100% aislamiento													
2	7	10	14	20	175	40	228	698	906	133.1	369.2	168*	119*
1/0	19	16	14	20	175	40	362	772	980	212.9	509.7	218*	155*
2/0	19	20	14	20	175	40	406	816	1024	266.1	603.1	248*	177*
3/0	19	25	14	20	175	40	456	866	1074	332.8	718.9	284*	201*
4/0	19	20	12	20	175	40	512	922	1164	422.9	867.4	324*	230*
250	37	16	10	25	175	40	558	978	1262	538.1	1042.4	360*	257*
350	37	18	14	25	175	60	661	1081	1329	239.4	907.7	389**	319**
400	37	20	14	25	175	60	706	1126	1374	266.1	997.6	417**	343**
500	37	25	14	25	175	60	789	1209	1457	332.6	1187.5	468**	384**
750	61	24	12	30	175	60	968	1398	1680	507.4	1674.2	569**	468**
Conductor de Cobre- 100% aislamiento													
2	7	16	14	20	175	40	288	698	906	212.9	591.6	210*	150*
1	19	20	14	20	175	40	322	732	940	266.1	709.3	240*	171*
1/0	19	25	14	20	175	40	362	772	980	332.6	856.2	273*	194*
2/0	19	20	12	20	175	40	406	816	1058	422.9	1045.8	313*	224*
3/0	19	25	12	20	175	40	456	866	1108	528.6	1275	358*	255*
4/0	19	20	10	20	175	40	512	922	1206	672.6	1572.4	410*	293*
250	37	24	10	25	175	40	558	978	1262	807.1	1848.3	446*	322*
350	37	18	12	25	175	60	661	1081	1363	380.6	1800.9	489**	400**
400	37	20	12	25	175	60	706	1126	1408	422.9	2013.7	523**	426**
500	37	26	12	25	175	60	789	1209	1491	549.7	2479.6	577**	472**

1 Las ampacidades mostradas asumen el uso del 100% del factor de carga, corriente a 60Hz.

2.1.2 Cable multipolar

Se denomina cable multipolar el formado por dos o más conductores, bien sean de fases, neutro, protección o de señalización; cada uno lleva su propio aislamiento y el conjunto puede completarse con envolvente aislante, pantalla, recubrimiento contra la corrosión y efectos químicos, armadura metálica, etc.

Los principales tipos de cables multipolares son:

- a) Bipolar. Destinado al transporte de energía eléctrica por corriente continua o monofásica.

- b) Tripolar. Empleado en el transporte de corriente alterna trifásica. Las formas de los conductores pueden ser circulares o sectoriales y la sección de la cubierta es normalmente circular.

- c) Tetrapolar. Está constituido por cuatro conductores, tres fases y neutro, siendo éste de menor sección que las fases.

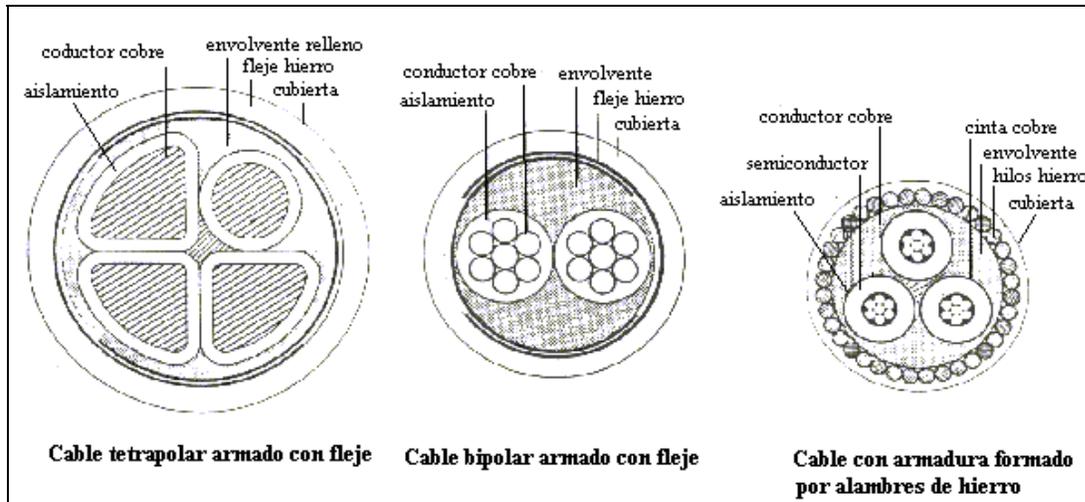
Figura 2. Cable Multipolar EP o XLP, 5 a 35 KV



Tres conductores compactos de cobre suave cableado.

1. Pantalla semiconductor extruida sobre el conductor.
2. Aislamiento de EP o XLP.
3. Pantalla semiconductor extruida sobre el aislamiento.
4. Pantalla metálica formada por hilos o cintas de cobre suave de tierra.
5. conductor de cobre suave desnudo.
6. Rellenos (opcionales).
7. Cinta Reunidora
8. Armadura engargolada de acero galvanizado o aluminio.
9. Cubierta de PVC antillana en colores.

Figura 3. Diferentes configuraciones de cables de potencia



2.1.3 Cable aislado multipolar trenzado

En las redes de distribución, para reemplazar a las líneas aéreas de cobre desnudo o aislado, se ha generalizado un nuevo tipo de montaje a partir de cables trenzados.

Están constituidos por tres cables unipolares de campo radial, aislados individualmente sin funda exterior, cableados sobre un núcleo central formado por una cuerda portante de acero de 50 mm² de sección, protegida generalmente con una capa de cloruro de polivinilo.

Los conductores trenzados de media y alta tensión se componen de las siguientes capas:

- Conductor generalmente de aluminio.
- Capa semiconductora.
- Aislamiento de polietileno reticulado o etileno-propileno.
- Capa semiconductora.
- Pantalla de flejes de cobre o corona de alambre de cobre.

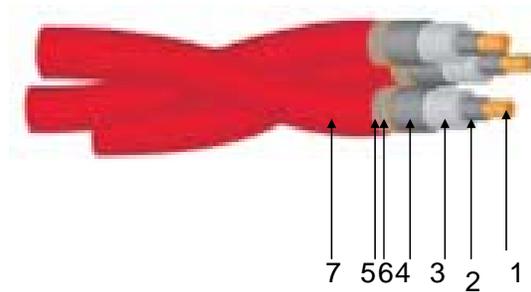
- Cubierta de cloruro de vinilo.

Las ventajas que presentan los cables trenzados son:

- Ventaja de acoplar los tres conductores alrededor de un cable fiador.
- El calentamiento mutuo entre fases es notablemente más débil que en un cable trifásico.
- Facilidad de fabricación, montaje y reparación, al presentarse las averías casi siempre en una sola fase.
- En la alimentación de pequeños núcleos rurales, en la que las líneas desnudas presentan peligro y la canalización subterránea es muy costosa, se emplea este tipo de cable como solución intermedia, para mejorar la estética.
- La ausencia de soportes facilita la circulación sobre las aceras y las calles.

Las intensidades de carga admisibles se han determinado según normas para cables instalados al aire con temperatura ambiente de 40°C y temperatura máxima, en el conductor, de 90°C en régimen permanente.

Figura 4. Cable de potencia triplex EP o XLP 5 a 35 KV



1. Tres conductores compactos, cobre suave.
2. Pantalla semiconductora extruida sobre el conductor.
3. Aislamiento de EP o XLP 100% Nivel de Aislamiento.
4. Pantalla semiconductora extruida sobre aislamiento.
5. Pantalla electrostática a base de alambres de cobre suave.
6. Cinta separadora.
7. Cubierta exterior de PVC.

2.2 Aislamientos

Como hemos visto, los cables subterráneos están conformados, para su buen funcionamiento, por diversos elementos; Conductores, aislante, pantallas, cubiertas protectoras, etc, siendo el aislante un elemento de primordial importancia.

Gracias al desarrollo de nuevos materiales aislantes que soportan temperaturas de operación mas elevadas y poseen propiedades dieléctricas esenciales para operar a mayores voltajes, se ha logrado mejorar la eficiencia de los cables. Las investigaciones en los laboratorios de los fabricantes producen día a día mejores materiales aislantes, algunos de ellos son solo modificaciones de los anteriores, mientras que otros son completamente nuevos.

Antes de entrar a considerar los distintos tipos de aislantes que existen, es importante conocer cuales son los principales factores que afectan la vida de un sistema aislante. Entre estos tenemos:

- Temperatura, la cual puede cambiar algunas propiedades eléctricas, mecánicas y químicas del sistema.
- Factor mecánico, debido a las diferentes expansiones entre el aislamiento, la cubierta y el conductor.
- Fuerzas mecánicas, debidas a las fuerzas que operan sobre el conductor bajo condiciones de corto circuito.
- La presencia de descargas parciales por efecto corona.
- La oxidación, en la cual se liberan gases que incrementan el carbono en la constitución del aislante.
- La formación de posibles canales de ruptura, los cuales son originados por pequeñas descargas en cavidades del aislante o por impurezas.

Estos canales van formando una configuración arbórea de donde toma su nombre Ingles este efecto (Treeing).

Los aislantes se ven sometidos a estos y otros factores adversos en mayor o menor grado dependiendo de las circunstancias, por lo que se han desarrollado diferentes aislantes tanto de tipo orgánico como inorgánicos con diferentes características, que los hacen aptos para cada caso en particular. Así pues, pasaremos a conocer los principales medios aislantes usados actualmente mencionando sus características esenciales.

Base de aceite:

Este grado de hule aislante has reportado un excelente servicio; y aunque no existe una definición estándar del mismo, podemos decir que este compuesto es generalmente formulado con varios aceites vegetales vulcanizables, sustancias bituminosas, hules naturales o sintéticos y otros ingredientes. Con una temperatura máxima de operación del conductor de 75 grados Celsius mantiene una buena estabilidad eléctrica y conserva las propiedades de un aislante bien balanceado.

Hule Butílico:

Los aislantes compuestos a base de este hule sintético son caracterizados por mantener sus propiedades por largos periodos, tener gran resistencia al calor, y una mayor resistencia a la degradación en presencia de oxígeno y ozono que otros compuestos aislantes a base de hule. Posee una estabilidad eléctrica superior bajo efectos combinados de calor y humedad, pudiendo soportar temperaturas de hasta 90 grados Celsius en condiciones húmedas o secas.

Plásticos:

El uso de plásticos en cables de distribución de bajo voltaje ha dado buenos resultados, como en el caso del policloruro de vinilo (PVC). A parte de la economía, los plásticos poseen varias propiedades atractivas, especialmente los relativamente bajos valores de permitividades relativas como también la facilidad de aplicar mecánicamente las cintas plásticas al cable y sus propiedades elásticas que facilitan la flexión del mismo.

Propiedades del PVC:

- Resistencia a la propagación del incendio.
- Mínima emisión de humos densos y oscuros
- Mínima emisión de gases tóxicos y corrosivos
- Resistencia a la abrasión, calor, humedad, ozono, aceites, grasas y productos químicos.

Polietileno:

Los primeros experimentos con polietileno demostraron que este dieléctrico poseía características eléctricas superiores, tales como un alto esfuerzo dieléctrico, muy buena resistencia a la humedad, alta resistencia de aislamiento, baja constante dieléctrica, y bajo factor de pérdidas.

Para cables primarios de 13.2 y 15 KV es recomendado el polietileno de gran peso molecular, al cual se le agregan ciertos productos químicos que poseen características estabilizantes, mejorando así sus propiedades dieléctricas. Se usa normalmente a una temperatura del conductor de hasta 75 grados Celsius. El polietileno tiene muy buena flexibilidad a bajas temperaturas, siendo sin embargo susceptible a ionización si no es cubierto

adecuadamente. Durante mucho tiempo se uso para voltajes no mayores de los 15KV, pero actualmente el polietileno extruido se ha utilizado en cables de hasta 70KV, con características de operación similares a las del cable con aislamiento de papel impregnado en aceite.

Polietileno de cadena cruzada (XLP):

Este material representa una gran mejora en las características térmicas del polietileno ordinario, reteniendo a la vez sus excelentes propiedades físicas y eléctricas. La formación de los encadenamientos cruzados en las moléculas del polietileno, cambia la relativamente simple naturaleza química del mismo, en un complejo compuesto con menor deformación debida al calor, mejor resistencia al aceite y a los productos químicos, y menor posibilidad de quebraduras; utilizándose para temperaturas del conductor de hasta 90 grados Celsius. Al igual que en el polietileno convencional, la suave y dura superficie del polietileno de cadena cruzada facilita su instalación.

El polietileno tanto ordinario, como de cadena cruzada, es actualmente uno de los aislantes más usados en la distribución a nivel primario, siendo muy adecuado para los 13.2 KV.

Propiedades del XLP:

- Excelente resistencia al calor y la humedad
- Buena resistencia a aceites
- Resistencia a descargas parciales
- Bajas perdidas dieléctricas
- Alta rigidez dieléctrica

Hule Etileno-propileno (EP):

Uno de los más recientes aislantes de cables es el basado en este copolimero de etileno y propileno. Introducido al inicio de los años 60 ha mostrado un desarrollo prometedor. Posee un amplio margen de temperaturas de servicio y valiosas características físicas y eléctricas como:

- Resistencia excelente al calor y humedad
- Resistencia excepcional a las descargas parciales
- Alta rigidez dieléctrica
- Baja absorción de humedad
- Gran resistencia a las arborescencias
- Bajas pérdidas dieléctricas

Papel impregnado en aceite:

El papel impregnado ha sido por muchos años una de las formas más comunes de aislamiento en cables, tanto de transmisión como de distribución. El papel impregnado en aceite tiene excelentes propiedades eléctricas. Sin embargo, es muy susceptible al deterioro debido al agua, por lo que siempre debe ir protegido por una funda metálica u otra que sirva para tal propósito.

Las cintas de papel son enrolladas en forma helicoidal alrededor de la pantalla del cable conductor, quedando una pequeña separación entre vueltas adyacentes para que estas se puedan mover lateralmente al flexionarse el cable. Debido a que se enrollan varias capas de papel, se coloca cada una de forma que cubra los espacios dejados por la capa anterior. Antes de aplicar la cinta principal de papel aislante, el conductor es cubierto con dos capas de papel semiconductor o papel metalizado para formar una pantalla, la cual

impide las concentraciones de campo eléctrico debido a los hilos individuales que forman el conductor.

Para voltajes mayores a los 35 KV el aislamiento de papel no resulta conveniente, pues en el se forman cavidades debidas a los diferentes coeficientes de expansión térmica del papel, el aceite, y la cubierta. Con el calentamiento debido a la carga, la cubierta es estirada más allá de su límite elástico no siendo capaz de regresar a su tamaño original al enfriarse. Esto origina las cavidades que se llenan de aire, causando luego la ruptura dieléctrica. El fenómeno anterior es evitado si se pasan a utilizar otros tipos de cables como los llenados a presión por gas o aceite.

2.3 Consideraciones básicas de diseño de cables

Como hemos observado los cables subterráneos están compuestos por varios elementos: conductor, pantallas, aislamiento, cubiertas protectoras, etc..., cada uno de los cuales esta científicamente diseñado para que desarrolle una función específica, que conjuntamente con las funciones que realizan los demás elementos, conlleve al buen funcionamiento del cable. Pero, de donde parte el diseñador ?... Antes de efectuar consideraciones técnicas de diseño, el diseñador considera los requerimientos fundamentales en forma general, los cuales son:

- a) Confiabilidad
- b) Simplicidad
- c) Economía
- d) Seguridad

a) Confiabilidad

Para lograr un alto grado de confiabilidad en los cables, es necesario que el diseñador evalúe todos los componentes del mismo para que estos alcancen las condiciones de operación requeridas y aseguren así una vida adecuada del conductor. Los diseñadores consideran principalmente los siguientes aspectos: que los materiales alcancen las características eléctricas requeridas por el sistema tanto en estado estable como en estado transitorio, que posean y mantengan propiedades físicas adecuadas, que sean estables a los cambios de temperatura y humedad, y que resistan los ambientes corrosivos.

b) Simplicidad

Es necesario que los cables sean diseñados con un mínimo número de componentes, para facilitar su instalación y simplificar los empalmes y las terminaciones.

c) Economía

Se seleccionan los materiales de más bajo costo que a su vez llenen los requisitos técnicos y aseguren la confiabilidad del sistema, con el propósito de que el cable sea lo más barato posible.

d) Seguridad

La seguridad es otro requerimiento de diseño que debe ser tomado en cuenta, no sólo para la protección del personal que instala y da mantenimiento al sistema de cables, sino también para la protección del público en general que en forma indirecta pueda entrar en contacto con el sistema subterráneo.

Teniendo presente las consideraciones de diseño fundamentales pasa entonces el diseñador a seleccionar y diseñar cada elemento que conforma el

cable subterráneo. En el presente estudio no se pretende profundizar en los cálculos de diseño, pero sí establecer las principales consideraciones que debe hacer el diseñador.

2.4 Requisitos Mínimos de los conductores

El conductor empleado para transmitir energía debe llenar cierto número de requisitos, de acuerdo con las condiciones en que es usado, el servicio que debe desarrollar, el valor y costo de la energía, etc.. Pero en cualquier caso, ese número nunca es menor de cinco:

- 1) Requisito mecánico
- 2) Requisito térmico
- 3) Requisito de regulación
- 4) Requisito de ionización o escape
- 5) Requisito económico

El orden en que son enumerados indica su importancia relativa en el caso general, de manera que el cumplimiento del primero es absolutamente indispensable, en tanto que el del último puede ser pospuesto cuando hay motivos poderosos para ello.

En ciertas ocasiones parece que no son tomados en cuenta uno o dos de esos requisitos. Se dice, por ejemplo, que una barra colectora queda determinada por calentamiento y pudiera creerse que los demás no importan; pero si se estudia a fondo, se encontrara que esa barra cumple automáticamente los cinco requisitos al cumplir el número dos.

Otras veces se habla de ciertas líneas que han sido proyectadas a base de resistencia mecánica, como si solamente hubiera un requisito que cumplir; pero es fácil comprobar que los otros cuatro están satisfechos al mismo tiempo.

Si se exceptúa el requisito económico, que puede ser considerado como elástico, los demás están sujetos a la ley de que todo conductor que cumple un requisito sigue cumpliendo cuando su calibre aumenta.

En consecuencia, lo que ocurre en algunos casos especiales, es que a experiencia ha enseñado ya cuál es la sección más grande entre las correspondientes a cada requisito.

1) Requisito Mecánico

Todo conductor debe tener la suficiente resistencia mecánica para soportar, sin romperse sin deformarse permanentemente, los esfuerzos aplicados al mismo, en el servicio normal que debe desempeñar, y aun los que sean normales, pero previsibles técnicamente.

En el caso de línea subterránea, los esfuerzos anormales provienen del arrastre de los hilos a lo largo de los tubos o ductos; la presión en los ángulos de las tuberías; el peso de los conductores en los tramos verticales; la flexión de los alambres en las cajas de registro, etc. Entre los anormales se hayan: la tirantez en apagadores y contactos; la compresión por exceso de hilos en el tubo, o de juntas en las cajas y muchos mas que se presentan eventualmente, sin olvidar los esfuerzos de corte por falta de monitores en la boca de los tubos.

Ante esfuerzos tan variados, no es posible fijar de un modo absoluto las dimensiones y características de un conductor, tanto mas cuanto que el peso del mismo es uno de los motivos de esfuerzo y, al crecer la existencia mecánica, crece también el peso.

2) Requisito Térmico

Todo conductor debe alcanzar, en operación normal, una temperatura moderada, de acuerdo con la clase y calidad de su revestimiento y de las características de su instalación, que no produzca deterioro notable al primero, ni presente peligro para la seguridad de la última.

Es obvia la importancia de la temperatura en un conductor cubierto con materiales orgánicos naturales o sintéticos; pero siempre expuestos a evaporación, licuefacción, carbonización, ignición o destrucción en cualquier forma. Los aislamientos de hule, en particular, son muy sensibles al calor, convirtiéndose en masas duras, quebradizas y sin rigidez dieléctrica, unas veces; o reblandeciéndose del conductor, otras veces.

El papel y las telas aislantes pierden con el calor elementos volátiles que le dan flexibilidad y, lentamente, se carbonizan, o nitrogenan y se agrietan. El algodón impregnado pierde los aceites y resinas, y se vuelve absorbente a la humedad; solo la mica, el asbesto y el vidrio resisten temperaturas elevadas sin sufrir deterioro rápido, y el otro sucede con los silicatos o silicones, pero aun estos materiales tienen un límite que no debe ser excedido.

3) Requisito de Regulación

Se entiende por regulación el cambio de tensión en una carga alimentada por generador o transformador de potencial invariable, cuando dicha carga se reduce progresivamente hasta cero, y se expresa en valor absoluto por la diferencia entre la tensión máxima y la normal; o en por ciento, por el cociente de esa diferencia entre la tensión normal, multiplicado por 100. Por ejemplo, una carga recibe 220 voltios en operación normal; pero al desconectar paulatinamente esa carga, la tensión sube a 224.4 voltios. Se dice entonces

que la regulación es de 4.4 voltios; también se dice que la regulación es de 2 % puesto que $4.4/220=0.02$.

Como la causa de la regulación es la caída del potencial en los conductores de alimentación, la regulación esta íntimamente ligada a las características de la línea; recíprocamente, las constantes de una línea determinan la regulación de ella.

Como quiera que sea, la corriente que usa cada receptor debe ser llevada hasta él en condiciones apropiadas para que el servicio que ese receptor desempeña sea satisfactorio.

Si se trata de un aparato de calefacción, la temperatura baja extraordinariamente al disminuir la tensión, y pudiera resultar insuficiente para el objeto que se persigue. Si se trata de calefacción industrial, es posible que el proceso resulte incompleto, o demasiado lento, o aun, que se inutilicen las materias empleadas, cuando la tensión ha bajado mas allá de cierto limite.

Si se trata de un motor, cuando baja la tensión, también baja el flujo magnético en la maquina y, para producir el mismo par, el motor recibe mas corriente. Pero entonces el efecto Joule es mayor y los devanados pueden ser perjudicados por exceso de temperatura. En el caso de motores previstos de conmutador, la velocidad de la máquina se altera, y esto es un factor de mala operación. Si el receptor es un aparato basado en la ionización; lámparas fluorescentes, aparatos médicos, etc.; los resultados pueden ser insuficientes, o nulos por completo, cuando la tensión de la línea desciende un cierto porcentaje.

En consecuencia, es necesario limitar las caídas de potencial en las líneas de transmisión y distribución, y en las instalaciones interiores, para que la

regulación sea pequeña y para que la tensión en los receptores quede dentro de límites aceptables.

4) Requisito de Ionización o Escape

En los conductores con forro, usados en líneas de tensión baja o mediana, la cubierta aislante impide normalmente cualquier escape de corriente, si el tipo de aislamiento y su cantidad están apropiados para las condiciones del lugar y la forma de la instalación. Pero si la tensión de líneas es elevada, la energía puede escaparse del conductor aunque esté forrado, debido a un fenómeno característico de las tensiones mayores de 15 ó 20 KV.

El aire que está en contacto con un conductor desnudo, se halla sometido a un esfuerzo dieléctrico, más o menos intenso, que puede ser causa de ionización. Cuando el potencial del conductor va creciendo a partir de cierto límite, se produce en primer lugar una ionización invisible en los puntos más salientes y rugosidades del conductor. La extensión de las áreas afectadas va en aumento, y llega hasta cubrir toda la superficie del conductor. Después la ionización gana en volumen a medida que sube el potencial, se hace sonoro y visible, cada vez más, hasta que una descarga violenta entre polos opuestos inicia un arco que obliga a suspender la corriente y el servicio de la línea.

5) Requisito Económico

Si para transportar una potencia determinada a cierta distancia y con una tensión dada, se emplean conductores delgados, el costo de la línea y los gastos posteriores derivados del capital invertido, serán pequeños, pero la energía disipada por efecto Joule será grande y su valor podrá exceder y anular cualquier economía que pudiera provenir del poco capital invertido. Si por el contrario, se emplean conductores de calibre excesivo, la pérdida de energía podrá resultar despreciable; pero los gastos derivados del capital invertido

serán tan grandes que la línea no será costeable. En ambos casos la pérdida en efectivo será demasiado grande y la explotación resultara antieconómica.

En un término medio esta la solución apropiada: ni demasiado gasto de capital, ni demasiada disipación de energía. Este es el problema que enfocó por primera vez Lord Kelvin, y al cual dio la ley siguiente: cuando la energía disipada por efecto Joule tiene un valor fijo por unidad independiente del costo que puedan tener los conductores, la sección económica es aquella que hace iguales los gastos por concepto de capital invertido y por concepto de energía disipada en valor presente.

2.5 Aplicación de los conceptos anteriores en el diseño de la red de alimentación principal de media tensión (13.2KV)

Tipo de conductor a utilizar

El sistema de red que será utilizado para la alimentación de las ocho diferentes subestaciones con que contará para dotar de energía eléctrica el nuevo aeropuerto será un sistema en anillo, 13.2KV, 3f, 60 Hz, se instalarán ductos PVC 125 PSI subterráneos, para esto se necesita escoger el tipo de conductor a utilizar necesario para transportar la corriente y además para soportar los diferentes factores que intervienen en un sistema subterráneo, como son las limitaciones térmicas impuestas tanto por el aislante del conductor, como por la temperatura impuesta dentro de los ductos y por la condiciones del suelo.

Se tomaron a consideración varios factores económicos para la selección del conductor, se tomo en cuenta el utilizar un conductor XLP tetrapolar 15KV de cobre suave con pantalla semiconductor extruida, el cual nos brinda una máxima seguridad y es practico de instalar, pero existe un factor importante para tomar en cuenta, el factor económico, este tipo de conductor es demasiado costoso en comparación con el cable monopolar XLPE-TR para 15KV el cual fue escogido para la alimentación de la red. A continuación se indican las diferentes características del conductor a utilizar:

Cable de Potencia 15 KV

- Cantidad 6 km.
- Tipo URD con Chaqueta.
- Conductor 2/0 AWG cobre suave compactado.
- Con un nivel de aislamiento del 100%, con un espesor de 175 Mils (4.45mm).
- Aislamiento XLPE-TR (retardante de arborescencias).
- Neutro concéntrico conformado por alambres de cobre desnudo aplicados helicoidalmente con un 100% de conductividad del conductor de fase.
- Chaqueta PVC color negra (cubierta exterior termoplástica).
- Fabricado bajo las normas: Cable UL 1072, Conductor de cobre ASTM B496, Aislamiento Per ICEA S-68-516/NEMA WC8 y AEIC CS6, Neutral Concéntrico según ASTM B-3.

3. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEA

Existen tres aspectos básicos a determinar al planificar un sistema de distribución: el voltaje, el tamaño de los circuitos, y el modelo o tipo del sistema. Estos están íntimamente relacionados, y hay que tener en consideración que la modificación de uno de estos afecta a los otros dos.

Todas las alternativas buscan las mismas metas básicas; voltaje adecuado y continuidad de servicio al consumidor, con capital y costos de operación mínimos, por lo que ahora veremos las principales consideraciones que hay que tomar en cuenta para la selección de los diferentes parámetros.

2.5 Selección del voltaje

En un sistema de distribución, el voltaje más bajo ocurre a nivel del consumidor. Por encima de este nivel el voltaje del tamaño de las cargas individuales, la carga total, la densidad de carga y naturaleza de la misma, el área a cubrir y el tipo del sistema. Para grandes bloques de carga resulta más económica la distribución a voltajes mas altos. El equipo de interrupción, transformadores, etc. Pueden costar mas para mayores voltajes; sin embargo, este costo es compensado si es que la distancia es suficientemente grande para que el bajo costo de las perdidas por kilómetro de cable de mayor voltaje pueda ser multiplicado por un numero suficiente de kilómetros.

La densidad de carga y la configuración del sistema tienen pronunciados efectos económicos. Si los circuitos terminan en más de una localidad en el

extremo de la carga, el número de transformadores y seccionadores aumentara, requiriéndose a su vez de una mayor cantidad de cable. Esto ocasionara un aumento en el costo del equipo y un aumento de las perdidas del sistema.

3.2 Selección del tamaño de la carga

Se debe estimar cuidadosamente la cantidad de carga que deberá llevar cada circuito para suplir la carga total distribuida sobre el sector considerado. El área a cubrir y el número de circuitos a utilizar se podrán calcular en base a una evaluación económica de la cantidad de cable requerida en cada caso, sin olvidar que también se deberá tomar en cuenta el tiempo que se requerirá en localizar una falla. Una vez los circuitos se vean limitados térmicamente podría ser conveniente dividir el área en unidades de menor capacidad. El objetivo será hacer el área del circuito tan grande como sea posible sin sobrepasar el tamaño del cable designado, o bien permanecer dentro de un tiempo permisible de localización de una falla.

Se deberá tener en cuenta que mientras más grande sea la carga por circuito, menor será el número de estos, con lo que el costo disminuirá en término de transformadores y seccionadores. Se deberá tener en mente que el área de un circuito es inversamente proporcional a la densidad de carga para un amperaje dado. Para una baja densidad de carga uno podría limitar el área y consecuentemente el amperaje en base a un tiempo corto de localización de la falla en vez de basarse en el tamaño del conductor. Por otro lado, el alto costo de los puntos de conmutación y el poco incremento en el costo de la capacidad adicional debida al mayor tamaño de los conductores, pueden justificar la premisa del menor tiempo de falla. Esta situación cambia con el aumento de la densidad de carga, de manera que el factor limitante puede llegar a ser el tamaño del cable en vez del tiempo de localización de la falla.

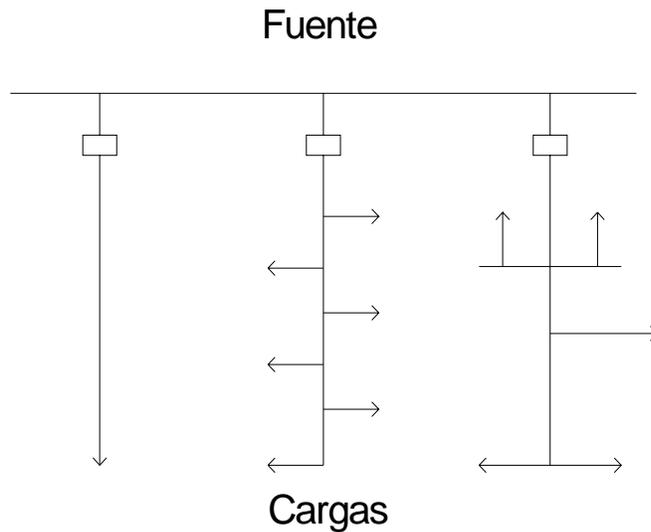
3.3 Selección del tipo de distribución subterránea

Para poder seleccionar adecuadamente el tipo o patrón de distribución debemos conocer las tres configuraciones esenciales, las cuales son; radial, anillo y de red. Por esta razón, a continuación presentaremos estos tres patrones en forma separada haciendo notar sus principales características y las principales consideraciones que hay que tomar en cuenta. Observemos que al referirnos al tipo, patrón o configuración, nos estamos refiriendo a la forma física que adquiere la red de distribución y a la forma en que están interconectados sus componentes.

3.3.1 Sistema radial

La configuración radial es la mas simple y usualmente la alternativa de menor costo. La característica esencial de los circuitos radiales es que son alimentados únicamente por un extremo y no están interconectados unos a otros en el extremo de la carga. Se pueden obtener muchas variantes de esta configuración; pues puede ser un solo circuito dirigido hacia una única carga, o bien un circuito a lo largo de una calle alimentando cargas distribuidas a lo largo de la misma, o puede también cubrir un área con algunas o muchas ramificaciones o laterales. Estos casos son presentados en la siguiente figura.

Figura 5. La configuración radial y algunas de sus variantes



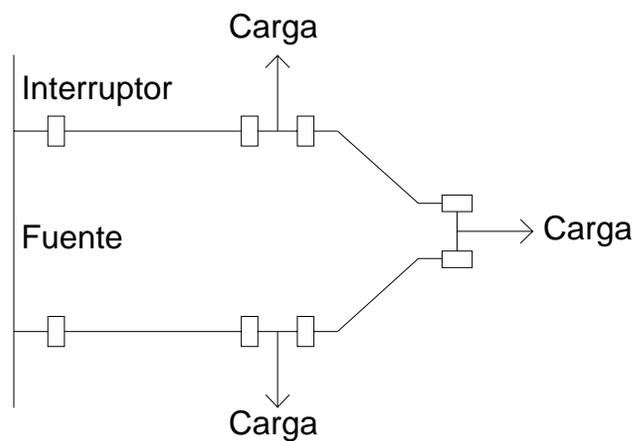
Su mayor desventaja es el largo tiempo que toma el reestablecer el servicio cuando una junta o un cable ha fallado. Por otra razón, se toman diversas medidas para reducir el tiempo fuera de servicio y la magnitud de la carga interrumpida, se utilizan cuchillas, interruptores y/o fusibles. Se puede hacer otra mejora en el servicio a cargas individuales, grandes o suficientemente importantes, para justificar el aumento del costo, por medio de terminaciones hacia dos circuitos adyacentes. Se provee de un interruptor en cada terminación de la carga, estando uno de estos normalmente abierto y el otro normalmente cerrado con lo cual, si ocurre alguna falla, la carga es transferida al circuito que no ha fallado. De esta forma, la capacidad térmica del circuito deberá soportar las transferencias de carga por el tiempo de la reparación.

Todas estas mejoras al sistema radial simple pueden ser usadas a cualquier nivel de voltaje, pero el costo y el espacio requerido aumentan considerablemente con el incremento del voltaje. Por esta razón, no es aconsejable el uso de sistemas radiales para voltajes de nivel medio y alto.

3.3.2 Sistema en anillo

La configuración en anillo es una de las más antiguas y populares para suplir subestaciones o grandes cargas individuales, y ha sido la tendencia el usarla en áreas urbanas. Es esencialmente un circuito que llega a dos o más cargas individuales para seguidamente regresar a su fuente. Este puede seccionarse por medio de interruptores localizados en las líneas de entrada y salida de cada carga, tal como se muestra en la figura:

Figura 6. Diagrama unifilar de una configuración anillada simple.



Una falla en cualquiera de los cables entre la subestación y la primera carga, se solventara temporalmente alimentándola por el otro extremo al cerrar los interruptores adecuados, lo cual implicara que el total de la corriente de carga fluya por el cable en buen estado. La corriente de emergencia será por consiguiente 100% mayor que la corriente normal y deberá ser soportada por el cable seleccionado.

Así pues, el sistema anillado tiene la ventaja de poder alcanzar varias cargas y darles servicio ininterrumpido aun con una falla en el cable, mediante el uso adecuado de relevadores e interruptores.

Posteriores aumentos de carga dentro del área cubierta por el anillo pueden ser servidas económicamente reforzando el mismo mediante cables alimentadores adicionales.

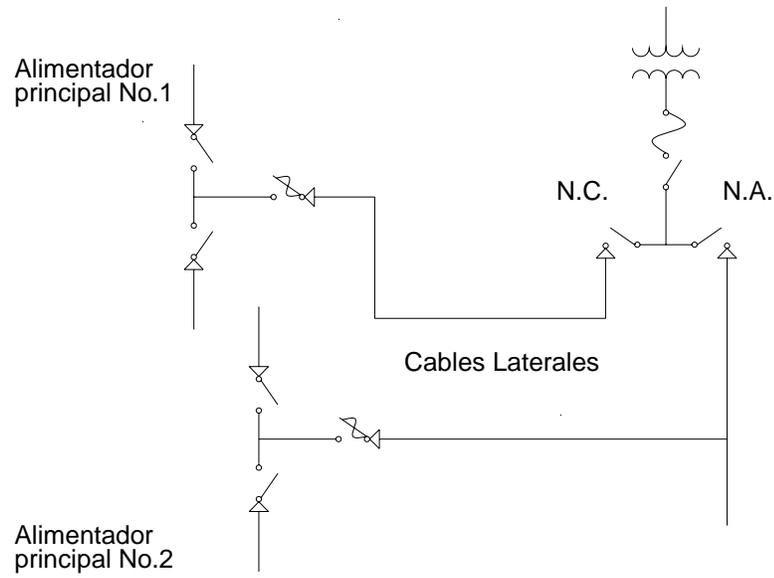
3.3.3 Sistema en red

Los sistemas en red son utilizados en subtransmisión y en distribución primaria y secundaria. Sin embargo, ya que nuestro presente estudio enfoca primordialmente lo referente a distribución primaria, nos referimos únicamente a esta.

Como su nombre lo indica esta configuración sugiere una red, la cual posee diversos puntos de alimentación teniendo así la ventaja de poder hacer reparaciones en un circuito mientras su carga es transferida a los circuitos adyacentes que alimentan la red. Con esta configuración se logra gran uniformidad en el tamaño de los cables y los transformadores. Debido a sus características este tipo de configuración es mas utilizado para distribución secundaria. Sin embargo si se desea un sistema de alta confiabilidad para hospitales, edificios importantes, centros comerciales u otros, el sistema en res es el indicado, siendo justificable generalmente para el tipo de edificaciones mencionadas.

Existen otros tipos de configuración, que generalmente son modificaciones de los tipos anteriormente mencionados. Entre estos esta el sistema de alimentación dual el cual es parecido al sistema anillado, excepto que cada transformador trifásico es alimentado desde dos puntos distintos. Esto tiende a mejorar la confiabilidad y continuidad del sistema, pero a la vez lo vuelve generalmente más costoso. Por estas razones este tipo de servicio se limita normalmente a las cargas mayores de gran importancia. Obsérvese a continuación un diagrama unificar del sistema dual:

Figura 7. Diagrama Unifilar de un sistema en red dual



4. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS SUBESTACIONES EXISTENTES

Actualmente, el Aeropuerto Internacional La Aurora cuenta con tres puestos de transformación a partir de una alimentación trifásica subterránea 13.2KV, 3f, 60HZ, estos puestos de transformación dotan de energía eléctrica la Terminal aérea, y los 6 puentes de abordaje existentes, de los cuales cuatro están siendo utilizados. Además estas subestaciones brindan energía eléctrica a las diferentes líneas aéreas actualmente en funcionamiento, éstas cuentan con su respectiva medición.

4.1 Tipos de subestación

El aeropuerto y sus diferentes áreas, Terminal aérea, puentes de abordaje, comercios y líneas aéreas están alimentadas eléctricamente desde tres subestaciones las cuales son de los siguientes tipos:

Subestación tipo Unitaria

Subestación tipo Bóveda

La subestación unitaria existente alberga dos puestos de transformación, los cuales son transformadores sumergidos en aceite, uno de ellos es de una capacidad de 1000 KVA, 13.2/7.6KV- 480/277V y el otro es de 250 KVA, 480/277V – 208/120V. Esta subestación cuenta con una celda de alimentación en 13.2KV con cortacircuitos de protección de 63A, celda de interruptor principal de 3x1200A para protección del transformador de 1000 KVA, celda con transferencia automática de 1000A, de la cual se alimenta una planta de emergencia de 750KVA stand-by 480/277V y celdas con barrajes trifásicos de

1200A de donde salen varios ramales en 480V que alimentan los puentes de abordaje, al final del barraje se alimenta el segundo transformador de 250KVA, además de contar con paneles de visualización de los parámetros eléctricos. Para una mejor comprensión de esta subestación ver diagrama unifilar de subestaciones antiguas, plano 10.2.

Figura 8. Placa de identificación transformador 1000KVA

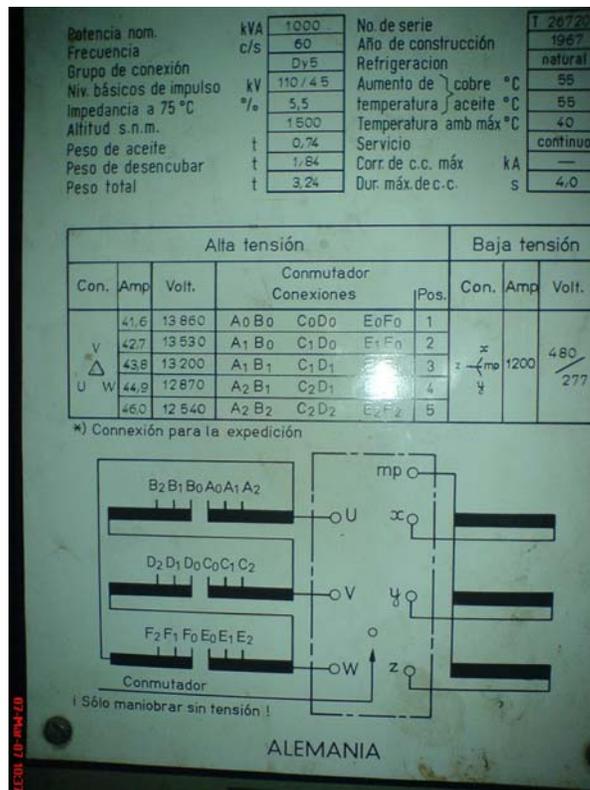


Figura 9. Placa de identificación transformador 250KVA

Transformador trifásico UKO 308N/1 seg

Potencia nom.	kVA	250	No. de serie
Frecuencia	c/s	60	Año de con
Grupo de conexión		Dy5	Refrigeraci
Niv. básicos de impulso	kV	30/30	Aumento de
Impedancia a 75 °C	%	4,0	temperatura
Altitud s.n.m.		1300	Temperatura
Peso de aceite	t	0,29	Servicio
Peso de desencubar	t	0,76	Corr. de c.c.
Peso total	t	1,25	Dur. máx. de c

Alta tension			Baj
Conexión	Voltaje	Amp	Conex.

En las figuras anteriores se puede observar las placas de los dos transformadores de la subestación unitaria.

Figura 10. Subestación unitaria existente



Figura 11. Celda de entrada primaria



Figura 12. Interruptor principal



Figura 13. Barras 480V



Figura 14. Planta de emergencia existente



En la figuras 11, 12, 13 y 14 se pueden observar, el panel de entrada primaria con cortacircuitos, interruptor principal de 1200A 480V, barras secundarias 480V y planta de emergencia, respectivamente.

Subestación tipo bóveda

El aeropuerto cuenta con una tercera subestación, esta es tipo bóveda compuesta por tres transformadores convencionales monofásicos de 100KVA,

haciendo una subestación de 300KVA 13.2/7.6KV – 208/120V, esta se encuentra alimentada de forma paralela del modulo de alimentación de media tensión de la subestación unitaria, como puede observarse en la siguiente figura.

Figura 15. Alimentación subestación tipo bóveda



Figura 16. Subestación tipo bóveda de 3X100KVA



Esta subestación alimenta varios comercios y líneas aéreas dentro de la Terminal, como pueden observarse en la siguiente figura las mediciones para dicho lugares se encuentran dentro de la misma área donde se encuentran las tres subestaciones antes mencionadas.

Figura 17. Medición de algunos comercios y líneas aéreas.



4.2 Accesos de Alimentación

Las diferentes subestaciones están alimentadas por medio de una línea trifásica de media tensión de 13.2 KV proveniente de un punto de entrega de la red de energía de la Empresa Eléctrica de Guatemala, EEGSA, que se encuentra en las afueras del perímetro del Aeropuerto, de este punto de entrega parte la línea trifásica hacia el cuarto eléctrico donde se encuentran las subestaciones, esta alimentación se hace con tres tuberías tipos conduit galvanizado de 4" y 3 cables tipo URD sin cubierta exterior 1/0 pasando por dos registros tipo H.

El poste donde esta el punto de entrega cuenta con una medición primaria, la cual es la utilizada para medir la potencia consumida por el aeropuerto, el número de identificación del poste es 355624 como puede observarse en la figura siguiente.

Figura 18. Número de identificación de poste



Figura 19. Punto de entrega



Los tres conductores URD 1/0 llegan a un registro tipo H que se encuentra dentro del cuarto eléctrico, el cual se une a una fosa en piso que recorre a lo largo de la subestación unitaria, de la caja tipo H existe un ramal, el cual llega a la subestación tipo bóveda a un costado de la subestación unitaria, como puede observarse en la siguiente figura.

Figura 20. Accesos de Alimentación.

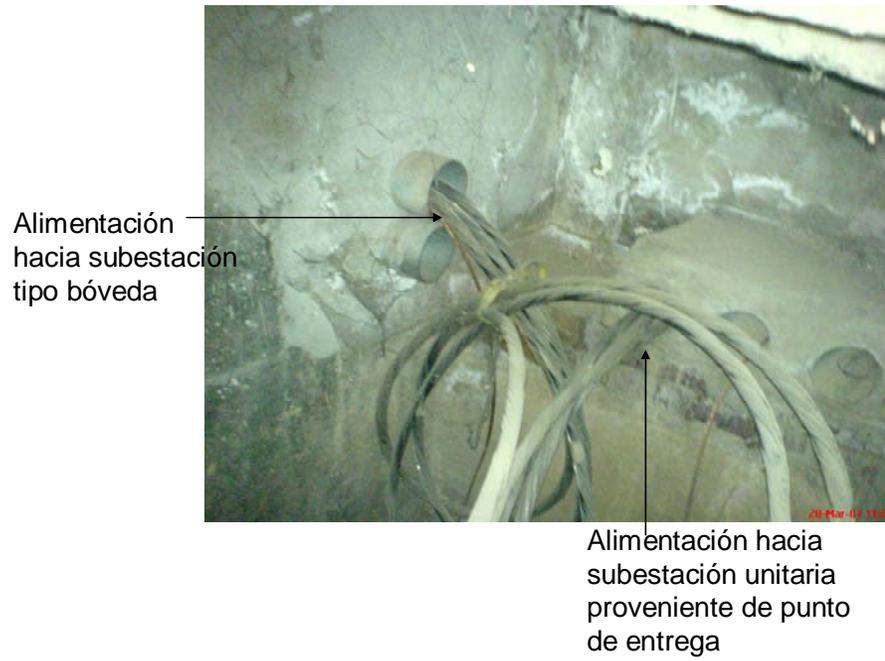
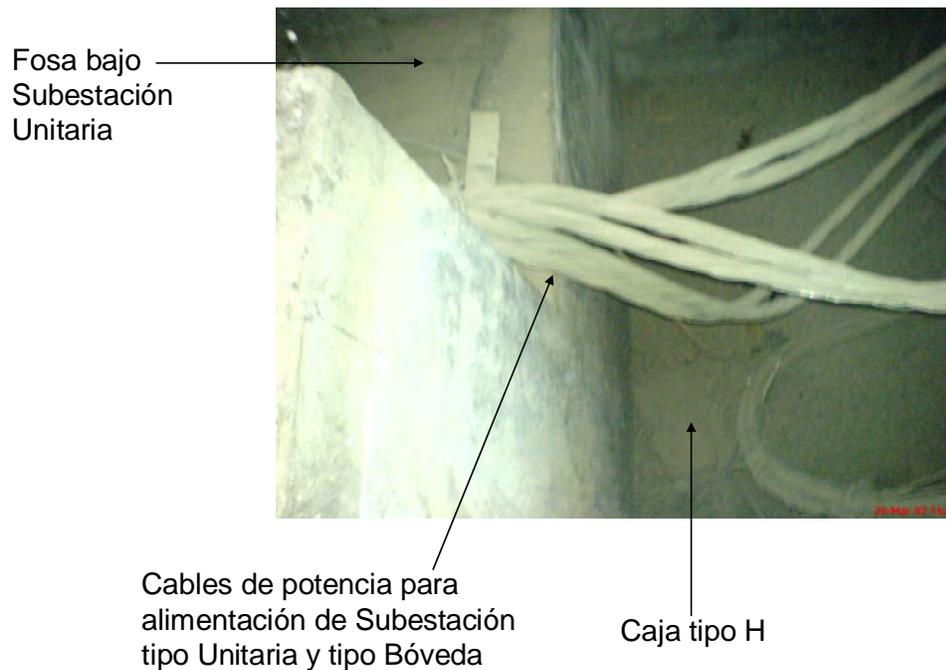


Figura 21. Accesos de Alimentación



4.3 Porcentaje de carga instalada

Las subestaciones actuales están trabajando a un 80% de su capacidad nominal, sin embargo por las remodelaciones actuales se han tomado varios circuitos provisionales que han aumentado el porcentaje de carga. Cabe mencionar que estas subestaciones desaparecerán en cuanto se concluya la nueva red que se esta construyendo.

5. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

5.1 Red de Alimentación a Utilizar

La alimentación de los puestos de transformación en el Aeropuerto Internacional La Aurora será en anillo cerrado. Este tipo de distribución posee la importante característica de brindar alta seguridad contra interrupciones en el sistema, requerido primordialmente en un aeropuerto.

En este sistema un solo conductor constituye el bucle que se corta a la salida del puesto de transformación. En caso de avería en un punto cualquiera del circuito, permite eliminar el ramal defectuoso y establecer rápidamente el servicio. Durante el servicio normal, el bucle está cortado en un punto determinado situado en el puesto más lejano (para nuestro caso la subestación 3 Finger Norte). Toda la instalación funciona entonces sobre dos ramales independientes entre sí que distribuyen las potencias sensiblemente iguales. En caso de avería sobre uno de estos ramales solamente desconecta uno de los disyuntores de salida interrumpiendo la corriente a partir del puesto de transformación después de haber procedido a los seccionamientos necesarios hasta que se llega al defectuoso, el cual se aísla en sus dos extremos por medio de interruptores provistos para ello.

En el plano 10.1 se representa el diagrama unifilar de la nueva red de alimentación del aeropuerto, en este circuito el servicio puede mantenerse sin interrupción en todas las subestaciones, incluso durante una avería en cualquier línea individual y el sistema ha de poseer suficiente capacidad de reserva para que no se produzca sobrecarga en ningún circuito cuando alguno de estos

quede fuera de servicio. Con esta disposición los circuitos constituyen en realidad un anillo subdivisible y cada subestación situada entre disyuntores de corte.

5.2 Distribución a utilizar

El análisis comprende el desarrollo y ejecución del anillo de media tensión de 13.2KV, 3f, 60 hz., el cual alimentara los 8 puestos de transformación a partir de un punto de entrega el cual será interconectado a la red de la Empresa Eléctrica.

La distribución de la canalización eléctrica une los puestos de transformación (Subestaciones) buscando los trayectos más cortos, pero tomando en cuenta la distribución de las áreas y las construcciones físicas en el Aeropuerto. (Plano 10.3).

La red subterránea se construirá con tubería de cloruro de polivinilo (PVC), 125 PSI con revestimiento de concreto para su protección. El banco de tuberías estará formado por ocho tubos de los cuales uno servirá para la media tensión circuito de alimentación, otro para el circuito de retorno y los demás de reserva. Por la magnitud del proyecto y por previsión se ha dejado contemplado un buen porcentaje de reserva en la cantidad de tubería pues una vez terminada la canalización se fundirá un piso de aproximadamente 30 cms, de espesor que complicaría enormemente cualquier ampliación o modificación posterior.

Las cajas de registro están ubicadas a una distancia promedio de 50 metros según se puede observar en el plano 10.3, lo cual permitirá realizar adecuadamente la instalación y mantenimiento del cable de energía.

Estas cajas están diseñadas para soportar el tráfico pesado puesto que estarán sometidas a esfuerzos provocados por el paso de vehículos pesados y carga constantemente. Su dimensionamiento esta dado en función del espacio necesario para poder manipular el cable de potencia sin mucha dificultad, como se muestra en el plano 10.5.

Los registros deberán sellarse por medio de una tapadera hermética para evitar la filtración de agua y líquidos contaminantes, además deberán contar con un drenaje para evacuar cualquier líquido que pudiera filtrarse.

Figura 22. Proceso de construcción de cajas registro tipo H.



Figura 23. Caja de registro tipo H para media tensión.



Figura 24. Proceso de introducción de tuberías para anillo de media tensión Finger Norte.



5.3 Tipo de subestaciones a utilizar

Las subestaciones a utilizar en el Aeropuerto Internacional La Aurora serán tipo unitaria, las cuales están divididas en tres secciones:

- a) Celdas de media tensión
- b) Transformador de Geafol
- c) Celdas de baja tensión.

El nuevo aeropuerto Internacional La Aurora esta dividido en tres secciones las cuales son nombradas de la siguiente manera:

- Finger Central, esta sección contara con tres niveles.
- Terminal Aérea, esta sección contara con cuatro niveles y un sótano
- Finger Norte, esta sección contara con tres niveles.

Para una mejor comprensión de la distribución de secciones ver plano 9.2.

El número de subestaciones a utilizar son ocho (ver plano 9.1) con diferentes capacidades según la tabla siguiente:

Tabla II. Capacidad y ubicación de subestaciones.

NÚM. DE SUBESTACIÓN	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD (KVA)	UBICACIÓN
1.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	1500	Finger Norte
2.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	1500	Finger Norte
3.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	1000	Finger Norte
4.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	250	Terminal Aérea
5.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	750	Terminal Aérea
6.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	750	Terminal Aérea
7.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	1000	Finger Central
8.00	Transformador Geafol 13.2/7.6KV - 480/277V	250	Finger Central

a) Celdas de media Tensión

Las celdas de media tensión como parte principal de nuestro estudio serán tratadas en el siguiente capítulo.

b) Transformador de Geafol

Los transformadores Geafol están constituidos por una mezcla de resina epoxi y harina de cuarzo. Este material no contaminante hace que los bobinados estén libres de mantenimiento, insensibles a la humedad, corrosión, a los climas tropicales, fríos, difícilmente inflamables y autoextingibles.

Están previstos para instalaciones interiores. Incluso bajo el efecto de un arco eléctrico o rodeado por incendio no se produce ningún tipo de desprendimiento de gas o sólido tóxico, también no contaminan el subsuelo ni manantiales. Los bobinados se fijan por intermedio de distanciadores elásticos

que aseguran su aislamiento vibratorio mutuo y con relación al circuito magnetito. Resultado: el mismo silencio que un transformador en aceite.

Seguridad

Las bobinas del bobinado de alta tensión (AT) se realizan con bandas de aluminio (figura 24). Por qué bobinado en bandas? Porque une la simplicidad de la técnica de enrollado con una alta seguridad en el nivel eléctrico. Los requerimientos dieléctricos del aislamiento de este tipo de bobinado son inferiores a los otros tipos de bobinados. Mientras que en las bobinas con alambre, la tensión de espira puede sumarse hasta alcanzar el doble de la tensión de capa, la tensión de los bobinados en bandas de una sola espira por capa no sobrepasa la simple tensión de espira.

Figura 25. Bandas de aluminio



El resultado es la excelente resistencia a las tensiones de frecuencia industrial y a las tensiones de impulso.

Por qué aluminio?

Los coeficientes de dilatación del aluminio y de la resina tienen valores muy parejos lo que minimiza las tensiones mecánicas en los materiales, impidiendo las fisuras. La resina epoxi se cuele al vacío y a temperatura y velocidad controlada en los bobinados de alta tensión. Este método permite evitar las inclusiones de aire (burbujas) cuya ionización degrada a medio plazo, de forma sigilosa, la aislación y con esto afecta la vida útil del transformador.

La detección de este fenómeno perjudicial se realiza por medio del ensayo de descargas parciales. Por este motivo se determinó que el ensayo de descargas parciales sea de rutina, aunque la norma y/o el usuario no lo pidan. La calidad de la colada, junto a las ventajas eléctricas del bobinado en bandas son las características decisivas para garantizar la ausencia de descargas parciales. El transformador de Geafol es el único libre de descargas parciales internas hasta el doble de la tensión nominal.

Los bobinados de Baja tensión (BT) también son en banda y esta hecho también de aluminio. El ancho de la banda es igual a la altura de la bobina, lo que reduce considerablemente los esfuerzos electrodinámicos causados por los cortocircuitos.

Un tratamiento térmico provoca la adhesión entre los materiales conductores y aislantes para formar un bloque compacto que ofrece una gran resistencia a los esfuerzos radiales.

Sobrecarga

Los transformadores Geafol a fin de disponer de reservas de potencia para cubrir los picos de carga de larga duración, el transformador se puede equipar con ventiladores centrífugos adecuados, controlados por la

temperatura. La potencia del transformador puede aumentarse así en 40% en servicio continuo.

Figura 26. Ventiladores radiales de transformador instalado en subestación 2 Finger Norte



b) Celdas de baja tensión

Estas celdas no son parte de nuestro estudio, pero cabe mencionar que las subestaciones contarán con paneles distribuidos de la siguiente manera:

- Interruptor principal
- Ramales
- Interruptor principal para banco de condensadores
- Banco de condensadores.

De los ramales se conectarán dos ductos barra de diferentes capacidades los cuales servirán para la alimentación de los puentes de abordaje. En la

siguiente figura se muestran las celdas de baja tensión de la subestación 3 Finger Norte.

Figura 27. Celdas baja tensión subestación 3 Finger Norte



6. CELDAS DE MEDIA TENSIÓN A UTILIZAR EN SUBESTACIONES Y SISTEMA DE RESPALDO

6.1 Celdas con seccionador tripolar

6.1.1 Generalidades

Estos equipos aseguran la continuidad en el servicio, debido a que pueden transformar la tensión de suministro de las redes de distribución, en media tensión permitiendo una regulación más estable en sus circuitos secundarios de utilización.

6.1.2 Aplicación

Las celdas de media tensión normalizadas, gracias a su diseño pueden ser instaladas en cualquier proyecto que requiera el uso directo de energía eléctrica de las redes de distribución de media tensión de las compañías suministradoras. Por lo que son ideales en plantas industriales, grandes complejos, hospitales, centros comerciales, bancos, etc, ya sea como subestación de acometida principal o derivada.

6.1.3 Celda de seccionador

En esta celda se aloja el seccionador de carga tripolar de un tiro operación en grupo, para la conexión y desconexión con carga, este seccionador es adecuado a la tensión de operación de la línea de distribución de media tensión (13.2KV o 23KV). Se emplea un seccionador tipo H251-G, con una corriente nominal de 630A. La finalidad principal es la protección

contra corto circuito, la cual se logra a través de los fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva. El seccionador también protege la línea contra operación monofásica o bifásica gracias a su mecanismo percutor, el cual desconecta automáticamente las tres fases cuando se funde un fusible.

La operación del seccionador se realiza por medio de un accionamiento de disco, desde el exterior frontal de la celda, un seguro mecánico evita abrir la puerta sin no está desconectado el seccionador, para la prevención de cualquier accidente. Cuando el seccionador se instala en una celda principal, debe de incluir tres apartarrayos, los cuales se montan en la parte posterior del seccionador, los apartarrayos son del tipo autovalvular, para redes con neutro conectado rígidamente a tierra o aislado.

Cuando la celda es para seccionador derivado, normalmente no se instalan apartarrayos.

6.1.4 Celdas de acoplamiento a transformador

Como su nombre lo indica esta celda es adecuada para el acoplamiento directo del transformador, contiene en su interior las barras de cobre necesarias para la conexión del transformador, apoyadas en aisladores de resina sintética del tipo SIG A, diseñados de acuerdo a la tensión nominal del sistema.

Esta celda puede estar situada a la derecha o izquierda de acuerdo a las necesidades del proyecto, para nuestro caso se encuentra a la derecha como se puede observar en plano 10.5.

6.1.5 Celda de medición

Es la celda destinada al equipo de medición de la compañía suministradora, diseñada con el espacio adecuado de acuerdo a las normas de la compañía de distribución, para alojar sin problemas el equipo de medición.

6.1.6 Celda de transición

Es una celda por medio de la cual se establece la interconexión entre un seccionador general con uno o mas seccionadores derivados, contiene las barras de cobre adecuadas para la conexión de la salida del seccionador con la alimentación de los seccionadores derivados, montadas sobre aisladores adecuados. Para nuestro caso esta celda se encuentra en la parte central del conjunto de celdas, ver plano 9.5.

6.1.7 Celda de acometida

Es una celda prevista para recibir el cable de energía de alta tensión, en aquellos casos de ampliación o interconexión a una celda derivada desde una celda receptora, contiene las barras de cobre adecuadas para esta conexión.

6.1.8 Protecciones

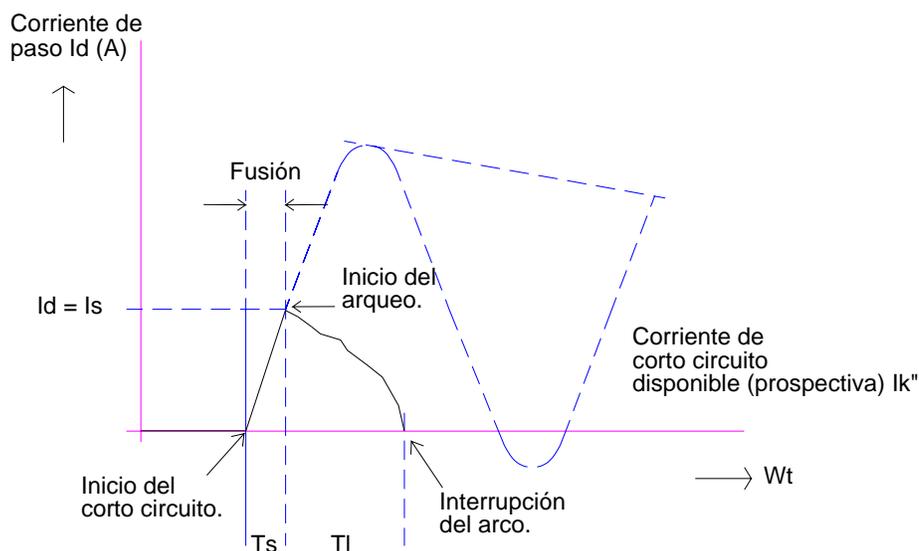
- **Fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva**

Los elementos fusibles tienen una serie de perforaciones espaciadas regularmente a todo lo largo, calibrados de acuerdo a las características de cada fusible, al circular una corriente de corto circuito se produce la fusión de los elementos en las áreas perforadas y se establece un arco eléctrico durante

la primera parte de la onda de la corriente. El diseño de los fusibles contempla un sistema de varios compartimientos o cámaras de arqueo en serie, en las cuales se extingue una parte del arco eléctrico producido al fundirse los elementos fusibles. El interior del fusible se llena de arena silica de granulación y formulación específica para una adecuada extinción del arco y enfriamiento del fusible.

Estos fusibles son empleados principalmente para la protección contra corrientes de corto circuito, debido al efecto limitador de corriente, (capacidad para interrumpir la corriente de corto circuito antes de que alcance su valor pico máximo), esto se logra limitando el valor de la corriente de paso I_d , al valor de la corriente de ruptura o corriente de fusión I_s , siendo esta menor que la corriente de corto circuito no limitado I_k'' , de acuerdo a la figura 30.

Figura 28. Interrupción de la corriente de corto circuito.



I_k'' = Corriente prospectiva de corto circuito (en caso de no existir fusible)
(valor rms o eficaz).

I_s = Corriente de fusión (valor pico)

I_d = Corriente de paso (valor pico)

$I_d = I_s$ = Corriente de corto circuito limitada por el fusible

T_s = Tiempo de pre-arqueo (tiempo de fusión)

T_I = Tiempo de arqueo.

- **Capacidad interruptiva**

La capacidad interruptiva (corriente máxima de interrupción) es la máxima corriente de corto circuito que un fusible es capaz de interrumpir con seguridad, para obtener la corriente máxima de interrupción se emplea la siguiente formula:

$$I_1 = PI1/V_{red} \times 3$$

Donde:

$PI1$ = capacidad interruptiva en MVA

V_{red} = Tensión nominal de red de KV

I_1 = corriente máxima de interrupción en KA

- **Selección de fusibles**

La selección de fusibles debe hacerse de acuerdo al equipo a proteger, ya que los criterios de selección difieren para cada aplicación, en cualquier caso los datos mínimos requeridos son:

- Tensión nominal de la red
- Capacidad interruptiva

- Altitud de instalación
- Corriente nominal del fusible (según aplicación)
- Coordinación con otras protecciones
- Servicio (interior o intemperie)
- Temperatura ambiente

Para todas las aplicaciones es necesario referirse a las curvas características corriente-tiempo del fusible. En la siguiente tabla se muestra la selección de fusibles dependiendo de la capacidad del transformador.

Tabla III. Selección de fusibles

TABLA DE SELECCIÓN DE FUSIBLES PARA TRANSFORMADORES

POTENCIA NOMINAL DEL TRANSFORMADOR KVA	TENSION DE OPERACIÓN EN KV		
	13.8	23	34.5
	CORRIENTE NOMINAL DE LOS FUSIBLES (A)		
45	6	6	2
75	10	6	4
112.5	10	6	4
150	16	10	6
225	25	16	10
300	25	16	10
500	40	25	16
750	63	40	25
1000	100	63	32
1500	125	100	50
2000	160	125	75
2500	200	160	100
3000	-	160	100

- **Apartarrayos**

Los apartarrayos utilizados en estas celdas son del tipo autovalvulares con neutro conectado rígidamente a tierra.

Figura 29. Apartarrayos



Figura 30. Celdas media tensión en subestación 3 Finger Norte



Figura 31. Celdas media tensión en subestación 3 Finger Norte



Para una mejor comprensión de la conexión de las celdas en cada subestación ver plano 10.6.

Figura 32. Fusibles y terminaciones en celda de salida a transformador subestación 3 Finger Norte



En la figura anterior se pueden observar los fusibles y la conexión de mufas de la celda de salida hacia el transformador en la subestación 3 del Finger Norte, estos fusibles fueron calculados según capacidad de la subestación tomando en consideración la tabla de selección de fusibles antes mostrada.

6.2 Celdas de media tensión de entrada y seccionalización del sistema del respaldo

El sistema de respaldo para el Aeropuerto Internacional La Aurora estará formado por siete celdas de media tensión, tres transformadores tipo Pad-mounted y tres generadores como se puede observar en el diagrama unifilar, plano 9.1. A continuación se muestran datos técnicos de las celdas de media tensión.

Datos técnicos

Voltaje de servicio	13.8 kV
Voltaje nominal	15 kV
Frecuencia nominal	60 Hz
Capacidad de corto circuito (3 s)	25 kA
Capacidad de corriente nominal	1600 A
Nivel de aislamiento (B.I.L.)	95 kV

- Las celdas de media tensión son de tipo Metal Clad (cubierta metálica) de acuerdo con el estándar ANSI/ IEEE C37.20.2 con interruptores extraíbles, con diseño resistente a arco, para montaje sobre piso y listas para ensamblar, cableadas y probadas en fábrica.

- El nivel de arco resistencia deberá ser tipo 2 (frente, lados y atrás) de acuerdo con la norma ANSI/IEEE C37.20.7.
- El encerramiento deberá ser NEMA 1 con empaques en las puertas. El acabado exterior deberá ser en color gris ANSI 61.
- El interior del tablero es construido de material Galvalume para evitar la corrosión.
- Resistencias de calefacción están instaladas en cada sección vertical para prevenir condensación y están controlados por un termostato.
- Una barra de tierra de mínimo ¼" x 2" deberá ser instalada a lo largo del tablero metal-clad.
- Las barras de media tensión son de cobre y están completamente aisladas con un material epoxico retardante a la llama. Todas las uniones del barraje deberán ser plateadas y cubiertas con botas reutilizables.
- Todos los interruptores de capacidades similares son intercambiables.
- Equipo de medida, control y protección esta provisto de un compartimiento separado para este fin.
- Las placas de identificación estarán ubicadas en las puertas de los equipos y deberán ser visibles desde el exterior.

Interruptor de Vacío

- Los interruptores de vacío permiten tres posiciones (conectado, prueba y desconectado) con la puerta del interruptor cerrada.
- El mecanismo de extracción del interruptor estará montado en el mismo interruptor.

- La puerta de interruptor contiene una ventana frontal. La posición del interruptor se aprecia a través de dicha ventana.
- Bloqueos mecánicos evitan la conexión / desconexión del interruptor a menos que el interruptor este abierto.
- El voltaje de control y disparo de los interruptores será de 125VDC.
- Circuitos de cierre y de disparo deben estar protegidos con fusibles.
- Persianas móviles cubrirán automáticamente los contactos principales cuando los interruptores son removidos de la celda.
- Contactos secundarios de los interruptores deben ser auto alineables.

Información General

Condiciones ambientales:

- Temperatura ambiente: 40 grados centígrados
- Máxima humedad: 90 %
- Altitud: aproximadamente 1200 metros sobre el nivel del mar.

Relés de protección

Todos los relés son controlados por microprocesador con pantalla de valores actuales y valores de disparo programados, e indicación tipo LED's de valores seleccionados o elementos de disparo.

Transformadores de medición

Los transformadores de corriente (TC) deben ser del tipo ventana. Cada (TC) estará cableado a terminales cortocircuitables. Los

transformadores de Potencial (TP) son del tipo extraíble y se instalarán en un compartimiento dedicado para este fin. La desconexión del transformador se realizará a puerta cerrada. La precisión de los TC y TP es de acuerdo con los estándares ANSI.

Instrumentos de medición

Son de tipo flush-mounted, con dimensiones 96 x 96 mm., con una escala de 90 grados de deflexión y una exactitud de 1.5. En el caso que se suministren relés multifunción de protección y medida, las lecturas de medida podrán ser tomadas de dichos relés.

Celda de llegada de servicio de red (Incoming)

La celda de llegada de servicio de red consiste de:

Parte de potencia:

- Sistema de barras Bus Bar
- Interruptor de potencia 400 A, 25 kA a 13.8 kV con disparadores de seguridad, cargado por motor, operado por resorte, con bobinas de apertura, cierre y bajo voltaje, y todos los contactos auxiliares necesarios.
- Dos (2) sets (juegos) de Transformadores de corriente de tipo ventana, uno para medición y otro para protección.
- Dos (2) sets (juegos) Transformadores de voltaje de embobinado secundario simple uno conectado en el lado de la línea y el Segundo conectado al barraje principal (main bus)

Parte de control:

- Selector de control del interruptor (Cierre / Disparo)
- Voltímetro
- Selector de voltaje de fases
- Amperímetros
- Relé de protección 50/51/50N/51N
- Relé de protección 59/27
- Relé de protección 67
- Relé de chequeo de sincronismo 25
- Selector de funcionamiento local – remoto
- Lámpara tipo LED (verde) indicación de Apertura
- Lámpara tipo LED (roja) indicación de Cierre
- Diagrama unifilar con indicación de estado del interruptor
- Terminales de prueba para c.t. y p.t.

Celda de alimentador

La celda de alimentador (feeder circuito del Aeropuerto de la Aurora y reserva) consiste de:

Parte de potencia:

- Sistema de barras Bus Bar
- Interruptor de potencia 400 A, 25 kA a 13.8 kV con disparadores de seguridad, cargado por motor, operado por resorte, con bobinas de apertura, cierre y bajo voltaje, y todos los contactos auxiliares necesarios.
- Dos (2) sets de Transformadores de corriente de tipo ventana, uno para medición y otro para protección.
- Un (1) Transformador de Corriente de Secuencia Cero. De

relación 50/5A.

Parte de control:

- Selector de control del interruptor (Cierre / Disparo)
- Amperímetros
- Relé de protección 50/51/50N/51N
- Selector de funcionamiento local – remoto
- Lámpara tipo LED (verde) indicación de Apertura
- Lámpara tipo LED (roja) indicación de Cierre
- Diagrama unifilar con indicación de estado del interruptor
- Terminales de prueba para c.t.

Celda de generador

La celda de Generador de Emergencia consiste de:

Parte de potencia:

- Sistema de barras Bus Bar
- Interruptor de potencia 400 A, 25 kA a 13.8 kV con disparadores de seguridad, cargado por motor, operado por resorte, con bobinas de apertura, cierre y bajo voltaje, y todos los contactos auxiliares necesarios
- Dos (2) sets de Transformadores de corriente de tipo ventana, uno para medición y otro para protección.
- Un (1) Transformador de Corriente de Secuencia Cero. De relación 50/5A.
- Un (1) set de Transformadores de voltaje de embobinado secundario simple conectado en el lado de la línea.

Parte de control:

- Selector de control del interruptor (Cierre / Disparo)
- Voltímetro
- Selector de voltaje de fases
- Relé de protección 50/51/50N/51N
- Relé de protección 59/27
- Relé de chequeo de sincronismo 25
- Selector de funcionamiento local – remoto
- Lámpara tipo LED (verde) indicación de Apertura
- Lámpara tipo LED (roja) indicación de Cierre - Diagrama unifilar con indicación de estado del interruptor
- Terminales de prueba para c.t. y p.t.

Celda de reserva

La celda de reserva estará mecánicamente equipada para instalar un futuro interruptor. Esta celda no estará equipada eléctricamente.

Generadores de emergencia

Los Generadores de Emergencia (3) son Caterpillar modelo 3516 o similar, montados sobre furgón para fácil movimiento. Los generadores tienen la capacidad de sincronizar automáticamente sobre una barra previamente energizada o alimentar directamente sobre una barra muerta. El modo de operación de toma de carga puede ser de forma isonchronus o droop, dependiendo del modo de operación seleccionado.

Datos técnicos:

Voltaje de servicio 480 V
Capacidad nominal 2000 KVA
Capacidad continua Prime Power 1600 kW
Frecuencia nominal 60 Hz
Capacidad del interruptor principal 2500 A
Capacidad del tanque de combustible 1250 galones
Tipo de combustible Diesel

Parte de Control:

Gobernador de velocidad tipo Woodward
Regulador de voltaje y factor de potencia tipo Basler
Relé de protección 50/51/50N/51N
Relé de protección 59/27
Selector de funcionamiento manual o automático

Transformador Elevador

El transformador elevador es de tipo Pad Mounted alimentación en anillo, con una capacidad nominal de 2000 KVA, y una relación de voltaje de 13.2/0.48 KV, con taps manuales +/- 2 x 2.5 %.

Panel de respaldo en DC (Banco de Baterías)

El panel de respaldo en DC (1) consiste de

- Cargador de baterías de 125 VDC tipo automático de características de control voltaje / corriente
- Supervisor de voltaje
- Amperímetro

- Voltímetro
- Todos los fusibles de protección necesarios
- Relé de alarma en caso de falla de voltaje externo

El panel de respaldo en DC es construido en metal con puertas frontales, instrumentos de medición, pulsadores y selectores, indicadores tipo lámpara con disposición frontal.

El banco de batería de 125 VDC es del tipo lead acid con una capacidad total del banco es de 90 Ah (amperios-hora).

Modo de operación

- Funcionamiento local o remoto de apertura o cierre de todas las celdas de media tensión
- Orden de arranque automático para generadores de emergencia en caso de falla de la red de suministro de energía eléctrica
- Función automática de compartimiento de carga en los generadores de emergencia en caso de falla de la red de suministro de energía eléctrica
- Supervisión constante de voltaje de red de suministro de energía eléctrica.

7. DATOS Y TIPOS DE CARGA A CONSIDERAR

7.1 Resumen de cargas

Tabla IV. Resumen de cargas subestación 1.

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA					
DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V		
SUBESTACION No.1 FINGER NORTE	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga	
Unidades de aire acondicionado					
Chiller 1			180		
Chiller 2			180		
Chiller 3			180		
Chiller 4			180		
Bombas torres de enfriamiento			150		
Bombas cuarto de máquinas			140		
					1080
Puentes de abordaje					
Puente de abordaje No. 7			190		
Puente de abordaje No. 8			190		
					300
Iluminación y Fuerza					
Iluminación puentes de abordaje No.7 y 8	10				
Iluminación ejes 28 al 40 Finger Norte	40				
Fuerza 120 y 208V ejes 28 al 40 Finger Norte	30				
		80			
SUB-TOTAL DE CARGA		80	1390		
TOTAL DE CARGA		1470			

Tabla V. Resumen de cargas subestación 2

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA

DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
SUBESTACION No. 2 FINGER NORTE	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Puentes de abordaje				
Puente de abordaje No. 9			190	
Puente de abordaje No. 10			190	
Puente de abordaje No. 11			190	
Puente de abordaje No. 17			190	
Puente de abordaje No. 18			190	
Puente de abordaje No. 19			190	
				1140
Iluminación y Fuerza				
Iluminación puentes de abordaje No.9,10,11,17,18 Y 19	30			
Iluminación ejes 14 al 27 Finger Norte	130			
Fuerza 120 y 208V ejes 28 al 40 Finger Norte	100			
		260		
SUB-TOTAL DE CARGA		260		1140
TOTAL DE CARGA (KVA)				1400

Tabla VI. Resumen de cargas subestación 3.

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA

DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
SUBESTACION No. 3 FINGER NORTE	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Puentes de abordaje				
Puente de abordaje No. 12			190	
Puente de abordaje No. 13			190	
Puente de abordaje No. 15			190	
Puente de abordaje No. 16			190	
				760
Iluminación y Fuerza				
Iluminación puentes de abordaje No.12,13,15 Y 16	20			
Iluminación ejes 01 al 13 Finger Norte	90			

Fuerza 120 y 208V ejes 01 al 13 Finger Norte	70			
		180		

SUB-TOTAL DE CARGA	180		760	
---------------------------	-----	--	-----	--

TOTAL DE CARGA (KVA)			940	
-----------------------------	--	--	------------	--

Tabla VII. Resumen de cargas subestación 4.

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA

DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Torres de enfriamiento				
Alimentación torre de enfriamiento 1			60	
Alimentación torre de enfriamiento 2			60	
				120
Pozo				
Alimentación bomba 1			25	
Alimentación bomba 2			25	
				50
Bombas				
Bomba agua potable	25			
Bomba aguas negras	25			
		50		

SUB-TOTAL DE CARGA	50		170	
---------------------------	----	--	-----	--

TOTAL DE CARGA (KVA)			220	
-----------------------------	--	--	------------	--

Tabla VIII. Resumen de cargas subestación 5.

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA				
DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
SUBESTACION No. 5 FINGER CENTRAL Y TERMINAL AEREA ALA NORTE	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Iluminación y fuerza Finger Central ala norte				
Iluminación puente, tres niveles	115			
Fuerza 120 y 208V puente, tres niveles	90			
Iluminación Finger Central ala Norte, tres niveles	120			
Fuerza 120V y 208V Finger Central ala Norte, tres niveles	140			
		465		
Equipos				
Elevadores (3 Unidades)	75			
Escaleras	65			
Fajas transportadoras de maletas	60			
Aire acondicionado Manejadoras	65	265		
SUB-TOTAL DE CARGA		730		
TOTAL DE CARGA (KVA)		730		

Tabla IX. Resumen de cargas subestación 6.

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA				
DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
SUBESTACION No. 6 FINGER CENTRAL Y TERMINAL AEREA ALA SUR	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Iluminación y fuerza Finger Central ala sur				
Iluminación puente, tres niveles	100			
Fuerza 120 y 208V puente, tres niveles	90			
Iluminación Finger Central ala Sur, tres niveles	125			
Fuerza 120V y 208V Finger Central ala Norte, tres niveles	140			
		455		
Equipos				
Elevadores (3 Unidades)	75			
Escaleras	65			
Fajas transportadoras de maletas	60			
Aire acondicionado Manejadoras	65	265		

SUB-TOTAL DE CARGA	720	
TOTAL DE CARGA (KVA)	720	

Tabla X. Resumen de cargas subestación 7.

CUADRO RESUMEN DE CARGAS KVA				
DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
SUBESTACION No. 7 FINGER CENTRAL	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Puentes de abordaje				
Puente de abordaje No. 1			190	
Puente de abordaje No. 2			190	
Puente de abordaje No. 3			190	
Puente de abordaje No. 4			190	
Puente de abordaje No. 5			190	
Puente de abordaje No. 6			190	
				1140
Iluminación y Fuerza				
Iluminación puentes de abordaje No.1,2,3,4,5 Y 6.	50			
Fuerza 120 y 208V primer nivel Finger Central	30			
		80		
SUB-TOTAL DE CARGA	80		1140	
TOTAL DE CARGA (KVA)	1220			

Tabla XI. Resumen de cargas subestación 8.

DESIGNACIONES DE VOLTAJE	120 / 208 V		277 / 480 V	
SUBESTACION No. 8 FINGER CENTRAL ALA SUR Y VUELOS NACIONALES	Sub-total Carga	Total Carga	Sub-total Carga	Total Carga
Iluminación y fuerza Finger Central ala sur				
Iluminación, tres niveles	90			
Fuerza 120 y 208V, tres niveles	60			

Equipo Rx			80	
		150		80
SUB-TOTAL DE CARGA		150		80
TOTAL DE CARGA (KVA)		230		

7.2 Separación de cargas por subestación

Para la separación de cargas en cada subestación básicamente fue por medio de transformadores secos, los cuales nos alimentan las cargas 120/208V, las cargas 480V están tomadas directamente de la fuente por medio de tableros, sub-tableros y ductos barra.

7.3 Cálculo del conductor subterráneo

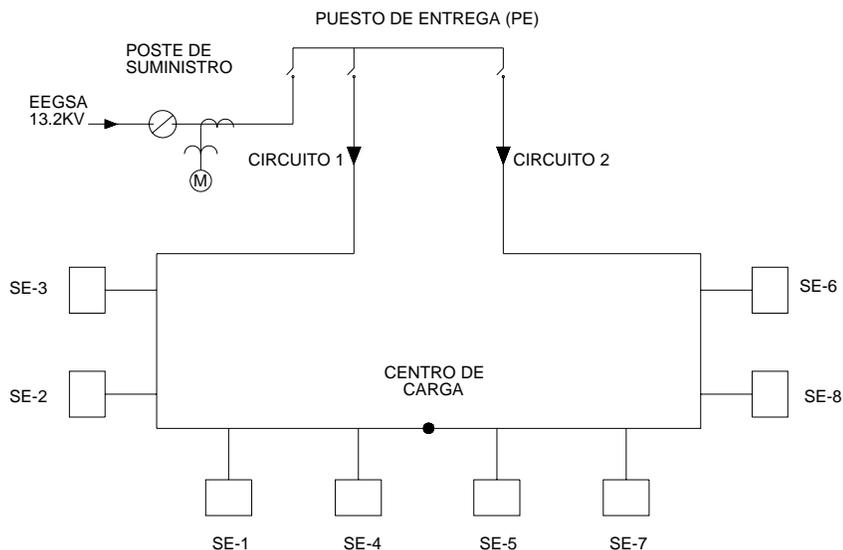


Figura 33. Anillo de alimentación de subestaciones

PE = Puesto de entrega
 SE = Subestación
 D = Distancia en metros.

Tabla XII. Cálculo distancia-carga

CIRCUITO 1

SE	D al PE (Mts)	Cargas (KVA)	Carga x D (KVA - Mts)
3	702	1000	702,000.00
2	832	1500	1,248,000.00
1	948	1500	1,422,000.00
4	1195	250	298,750.00
5	1238	750	928,500.00
7	1420	1000	1,420,000.00
8	1587	250	396,750.00
6	1634	750	1,225,500.00
			7000
			7,641,500.00

CIRCUITO 2

SE	D al PE (Mts)	Cargas (KVA)	Carga x D (KVA - Mts)
6	350	750	262,500.00
8	397	250	99,250.00
7	568	1000	568,000.00
5	755	750	566,250.00
4	798	250	199,500.00
1	1045	1500	1,567,500.00
2	1162	1500	1,743,000.00
3	1297	1000	1,297,000.00
			7000
			6,303,000.00

Centro Virtual de carga

Circuito 1

$$Lo = \frac{7,641,500 \text{ KVA.Mts}}{7000}$$

$$L_o = 1091.64 \text{ Mts.}$$

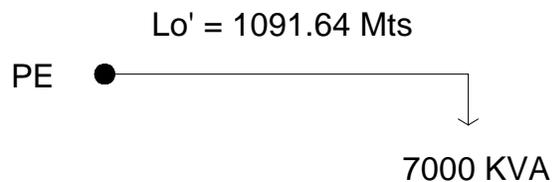
Circuito 2

$$L_o' = \frac{6,303,000 \text{ Mts}}{7000}$$

$$L_o' = 900.42 \text{ Mts.}$$

Para establecer la sección del conductor del sistema en anillo cerrado se calculara una línea de sección uniforme con carga distribuida, pues a pesar de estar alimentada la red en dos puntos debemos considerar la posibilidad de una falla en el caso más crítico que seria entre el puesto de entrega (PE) y la subestación 3 (SE-3).

Circuito Equivalente



Calculo por limitación térmica (corriente):

$$I = \frac{\text{KVA}}{1.732 \cdot \text{KV}}$$

$$I = \frac{7,000}{1.732 \cdot 13.2KV} = 306.17 \text{ amperios}$$

Calculo por caída de tensión:

La caída de voltaje máxima permitida por las Normas Técnicas para Instalaciones eléctricas (NTIE) incisos 202.6 y 204.3 es 2% para el circuito alimentador o principal y 3% para el circuito derivado, sin que los dos circuitos juntos sobrepasen el 5%.

Para el cálculo del conductor por caída de tensión:

$$A = \frac{1.732 \times L \times I}{e \times V \times K}$$

A = área del conductor en mm²

L = Longitud del conductor (mts)

I = Corriente

e = Regulación de voltaje (%)

K = Constante de Conductividad del material del conductor

V = Voltaje Nominal

$$K = 1/R$$

R = Resistividad específica del material del conductor para nuestro caso es cobre (Cu)

$$R = 0.0175 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$K = 57.14$$

Se utilizara K ya que el valor de la resistividad es bastante pequeño.

Se utilizara e con un valor de 2% ya que para nuestro caso es el alimentador principal.

$$A = \frac{1.732 \times 1091.64 \times 306.17}{0.02 \times 13200 \times 57.14}$$

$$A = 38.37 \text{ mm}^2$$

El área encontrada es equivalente al calibre 1 con 42.41 mm², este calibre de conductor no es comerciable, entonces nos tocara el siguiente calibre 1/0 URD con 53.49 mm² este conductor tiene la capacidad de 194 amperios, este cumple con el requisito de limitación de caída de tensión, pero no cumple con la limitación térmica por lo que se escogerá el conductor 2/0 URD según la tabla 310-77, columna 2 NEC 1990.

Se considero un factor de carga del 70% del total de capacidad de las subestaciones.

8. NORMAS APLICABLES A UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRANEO

Un profundo estudio de las distintas consideraciones de diseño lleva a los fabricantes de los productos y expertos en la materia, a recomendar y establecer ciertos parámetros con los cuales se obtiene el funcionamiento adecuado del dispositivo. Además, existen muchas instituciones que velan por la seguridad y el empleo correcto del equipo eléctrico, por lo que dictan normas de instalación para minimizar las fallas y los accidentes.

A continuación hemos seleccionado las principales normas internacionales aplicables a nuestro medio para un sistema de distribución subterránea en 13.2 KV. Hay que observar, que muchas de estas normas son aplicables para un rango de voltajes entre los cuales se encuentra el de 13.2 KV, no siendo exclusivas del voltaje mencionado.

a) Profundidad de los cables bajo tierra

Los cables subterráneos deberán cubrir los requerimientos mínimos de profundidad de enterramiento especificados por la siguiente tabla. La profundidad es medida entre la superficie superior del cable o conduit y el nivel del suelo.

Tabla XIII. Profundidades de enterramiento

PROFUNDIDADES MINIMAS DE ENTERRAMIENTO (METROS)

VOLTAJE DEL CIRCUITO	CABLES DIRECTAMENTE ENTERRADOS	CONDUIT RIGIDO NO METALICO*	CONDUIT METALICO RIGIDO O MEDIO
600V-22KV	0.76 MTS	0.46 MTS	0.15 MTS
22-40KV	0.91 MTS	0.61 MTS	0.15 MTS
MAS DE 40KV	1.07 MTS	0.76 MTS	0.15 MTS

*El llamado conduit rígido no metálico, debe estar debidamente aprobado para enterramiento directo. Todos los otros sistemas no- metálicos requerirán una cubierta adicional de 2" de concreto o equivalente encima del conduit.

Excepciones:

- Es permitido reducir las profundidades mínimas en 15 centímetros por cada 5 centímetros de concreto o equivalente colocado encima de los conductores.
- En áreas sujetas a tráfico pesado de vehículos, como parques comerciales, la profundidad mínima deberá ser de 61 cm.
- Son permitidas profundidades menores donde los cables y los conductores se elevan por alguna terminación o empalme; o bien donde cierto acceso es requerido.
- En las pistas de los aeropuertos, incluyendo las áreas adyacentes donde es prohibido pasar, es permitido enterrar el cable sin ducto, cubierta de concreto, o su equivalente, a una profundidad no menor de 46 cms.
- Los ductos instalados en roca sólida, pueden ser enterrados a menores profundidades cuando se les cubre con 5 cms de concreto; el cual puede prolongarse hasta la superficie de la roca.

b) Holgura en el ducto

Cuando el tipo de instalación sea en ducto plástico o de fibra directamente enterrado, la holgura diametral mínima entre el diámetro externo del cable y el diámetro interno del ducto debe ser de 1.9 cms.

c) Empalmes

Es permitido que los cables directamente enterrados sean empalmados sin utilizar cajas para el empalme, cuando se usen materiales adecuados para la aplicación. Los empalmes y las cintas utilizadas deben proveer un sello adecuado contra el agua, y deben estar protegidos contra posibles daños mecánicos. Cuando se utilicen cables acorazados, la coraza debe quedar continua a través del empalme.

d) El relleno o cama

No se deben colocar en la excavación materiales de relleno que contengan rocas, trozos de pavimento, cenizas, sustancias cortantes o angulares, o materiales corrosivos, pues estos podrían dañar los ductos, cables, u otras subestructuras, podrían evitar una compactación adecuada del relleno, o contribuir a la corrosión del sistema.

e) Sellado de ductos

Cuando un ducto proveniente de un sistema subterráneo entra a una edificación, el extremo que sale dentro de la misma debe ser sellado con un compuesto adecuado para prevenir la penetración de humedad o gases dentro del ducto.

f) Corazas del aislante

-Los compuestos metálicos y semiconductores de las corazas de los aislantes en los cables acorazados, pueden ser removidas una distancia que dependerá del voltaje del circuito y su aislamiento.

-En todas las terminaciones de las corazas, se deberá proveer un medio de reducción del esfuerzo eléctrico.

-Los componentes metálicos de las corazas, tales como cintas, alambres y sus combinaciones, y sus componentes asociados o semiconductores, deberán estar puestos a tierra.

g) Protección mecánica para cables con cubierta metálica

Donde los conductores del cable salen de la cubierta metálica, y es necesaria una protección contra la humedad o contra daños físicos, el aislamiento de los conductores debe ser protegido por medio de una terminación.

h) Protección del equipo

Los ductos y tuberías ajenos a las instalaciones eléctricas, que requieran mantenimiento periódico, o cuyo mal funcionamiento podría repercutir en la operación del sistema eléctrico, no deberán estar localizados en las vecindades del equipo de servicio, interruptores de potencia en cajas metálicas, o controles industriales. Donde sea necesario se deberán proteger las instalaciones para evitar los daños que ocasionaría la condensación de fugas, y la ruptura de los sistemas externos.

i) Protección de sobrecorriente

Se deberá proveer protección de sobrecorriente para cada conductor no puesto a tierra mediante uno de los siguientes medios:

- **Relevadores de sobrecorriente y transformadores de corriente**

Los interruptores de circuitos usados para protección de sobrecorriente en circuitos trifásicos a.c., deberán tener un mínimo de 3 relevadores de sobrecorriente operados por tres transformadores de corriente.

Excepción1:

En circuitos trifásicos, es permitido que un relevador de sobrecorriente en el circuito residual del transformador de corriente reemplace a uno de los relevadores de fase.

Excepción 2:

Es permitido que un relevador de sobrecorriente, operado desde un transformador de corriente que una todas las fases de un circuito trifásico de 3 alambres, reemplace al relevador residual y a uno de los transformadores de corriente de fase.

- **Fusibles:**

Se podrá conectar un fusible en serie con cada conductor no puesto a tierra.

j) Fusibles de potencia

- **Utilización**

Los fusibles para proteger conductores y equipo deberán colocarse en cada conductor no puesto a tierra. Es permitido utilizar dos fusibles de potencia en paralelo para proteger la misma carga si estos tienen características idénticas y ambos fusibles son instalados en una montura común con conexiones eléctricas que dividan la corriente en partes iguales. Los fusibles de potencia del tipo de expulsión, no deberán usarse en subterráneos a menos que estén identificados para este uso.

- **Nivel de interrupción**

El nivel de interrupción de los fusibles de potencia no deberá ser menor que la máxima corriente de falla que el fusible deberá interrumpir, incluyendo las contribuciones de todas las fuentes de energía conectadas.

- **Nivel de voltaje**

El máximo nivel de voltaje de los fusibles de potencia no debe ser menor que el máximo voltaje del circuito. Los fusibles que posean un voltaje mínimo recomendado de operación, no deberán usarse con voltajes menores al especificado.

k) Interruptores de carga

Son permitidos los interruptores de carga si son usados conjuntamente con fusibles adecuados o interruptores de circuito para interrumpir las corrientes de falla. Donde estos dispositivos sean usados en forma

combinada, deberán estar eléctricamente coordinados para que soporten en forma segura los efectos de cerrar, llevar, o interrumpir todas las corrientes posibles hasta llegar al nivel máximo asignado de corto circuito.

I) Medios de seccionalización

Se deben proveer medios para aislar completamente un componente o equipo del sistema. No será necesario el uso de seccionadores, donde existan otros medios de desenergización del equipo para realizar inspecciones y reparaciones.

Las cuchillas seccionadoras que no estén interconectadas con un dispositivo aprobado de interrupción, deberán tener una señal de advertencia de no abrirlas bajo carga. Se podrá utilizar un fusible y su portafusible como seccionadores si han sido diseñados para este propósito.

9. PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN

En virtud de la importancia de la operación de las subestaciones dentro del aeropuerto, siendo estas de vital importancia para la operación del mismo a continuación se presentan algunas fotografías del proceso de construcción del anillo de media tensión así como las subestaciones eléctricas.

Figura 34. Proceso de construcción de fosas en subestaciones



(a)



(b)



(c)



(d)

En la fotografía (a) se muestra la marcación de fosas para realizar la comunicación de media tensión hacia transformador y del transformador hacia las celdas de baja tensión, para una mejor comprensión ver plano 10.3. En la

fotografía (b) se muestra la armadura de soporte de peso del equipo, en la fotografía (c) se muestra el piso fundido con las fosas y en la última fotografía se muestra la fundición de las bases donde se instalarán las celdas de media y baja tensión.

Figura 35. Proceso de montaje mecánico de equipos en subestaciones.





En las fotografías anteriores se puede observar el montaje mecánico de las celdas de media y baja tensión, así como el montaje de un transformador seco de Geafol de 1500 KVA con su cubierta protectora.

Figura 36. Proceso de alambrado del anillo de media tensión 13.2 KV.





Figura 37. Proceso de alambrado de media y baja tensión de transformadores.



En las fotografías anteriores se puede observar el alambrado de media y baja tensión de un transformador de 1500 KVA 13.2/7.6KV – 480/277V, así como la preparación de las terminaciones (mufas) de interior para las celdas de media tensión.

10. PLANOS

10.1 Diagrama unifilar proyectado

Plano relacionado al nuevo sistema eléctrico instalado, en el cual se representan las ocho nuevas subestaciones eléctricas, así como el sistema de respaldo.

10.2 Diagrama unifilar subestaciones antiguas

Plano que representa el diagrama unifilar de las subestaciones que alimentaron el aeropuerto antes de la remodelación y ampliación.

10.3 Red de distribución

Plano que indica las rutas utilizadas para el sistema subterráneo de media tensión.

10.4 Fosas

Plano que indica las dimensiones de fosas utilizadas para la distribución de cables de media y baja tensión dentro de las subestaciones.

10.5 Registros

Plano que representa los tipos de cajas de registro utilizadas para la distribución del sistema subterráneo.

10.6 Celdas de media tensión

Plano con las diferentes celdas que componen el sistema de media tensión dentro de cada una de las subestaciones eléctricas.

10.2 Diagrama unifilar subestaciones antiguas

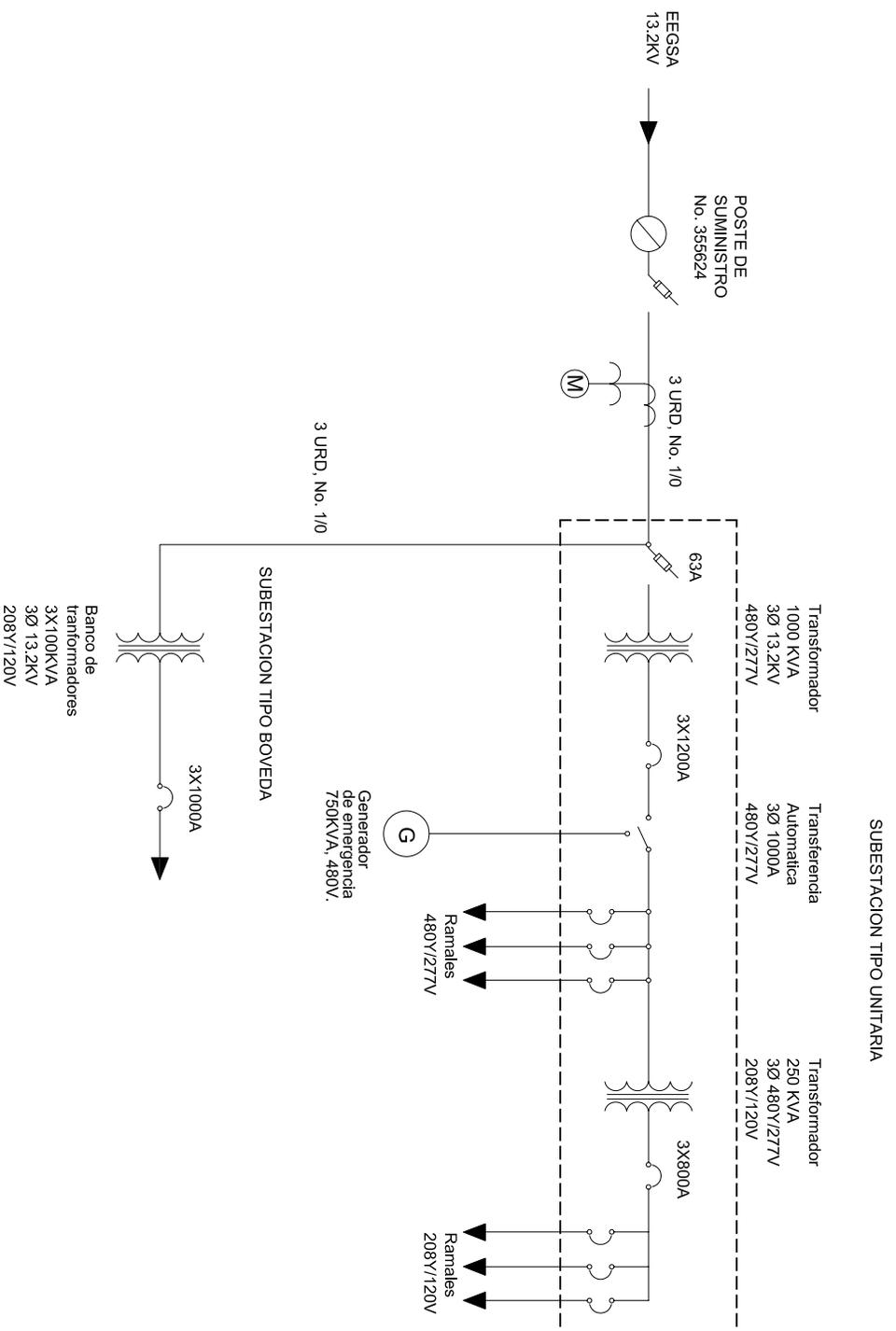


DIAGRAMA UNIFILAR DE SUBESTACIONES ANTIGUAS, AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA

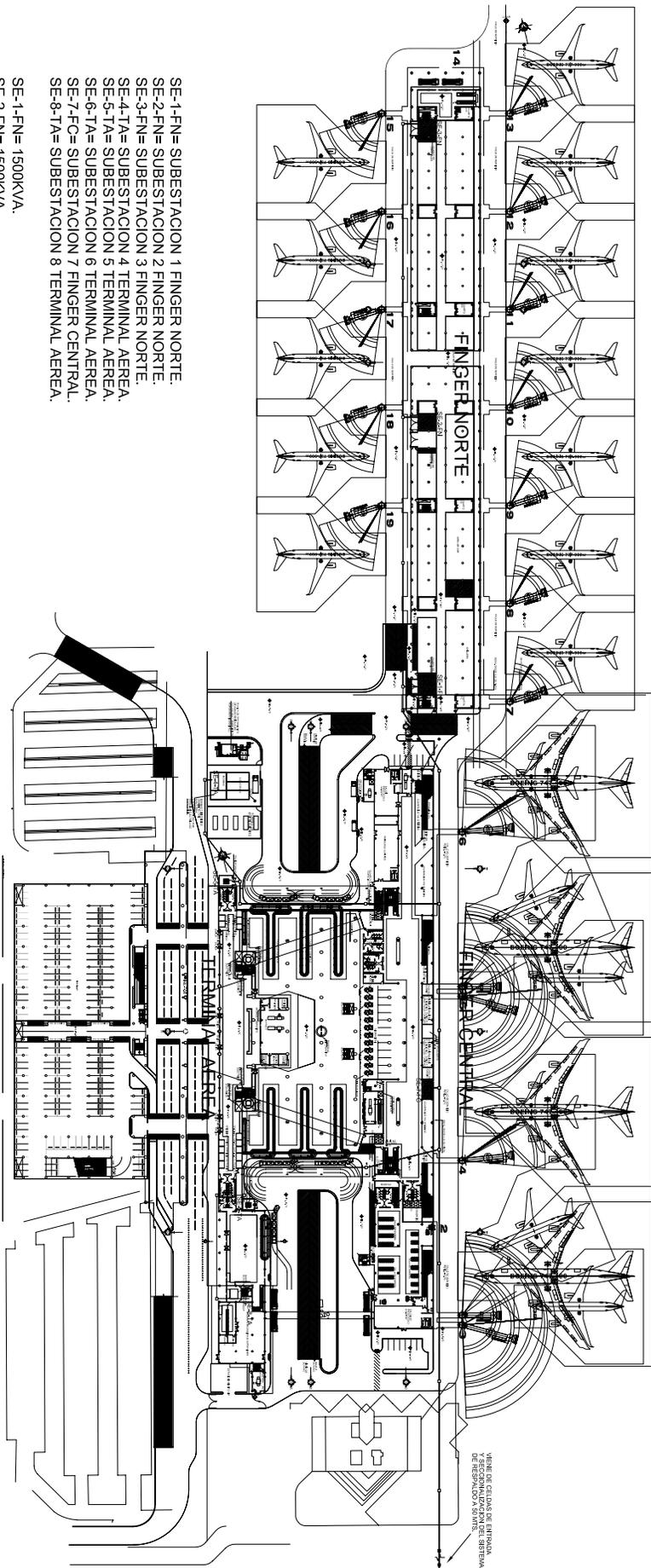
SIN ESCALA

107

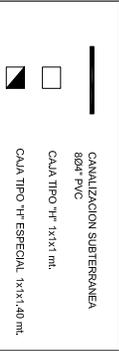
PROYECTO:	AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA		
PLANO DE:	DIAGRAMA UNIFILAR DE SUBESTACIONES ANTIGUAS		
ACRÓ:	R. S.L.	ESCALA:	INDICADA
FECHA:	ABRIL/2007	HOJA:	

PLANO 10.2

10.3 Red de distribución



- SE-1-FN= SUBESTACION 1 FINGER NORTE
- SE-2-FN= SUBESTACION 2 FINGER NORTE
- SE-3-FN= SUBESTACION 3 FINGER NORTE
- SE-4-TA= SUBESTACION 4 TERMINAL AEREA
- SE-5-TA= SUBESTACION 5 TERMINAL AEREA
- SE-6-TA= SUBESTACION 6 TERMINAL AEREA
- SE-7-FC= SUBESTACION 7 FINGER CENTRAL
- SE-8-TA= SUBESTACION 8 TERMINAL AEREA

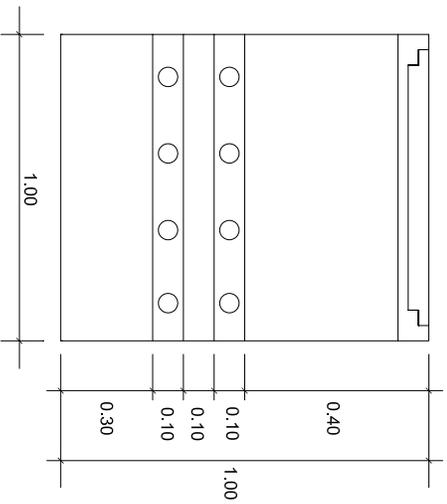


RED DE DISTRIBUCION DE MEDIA TENSION AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA

1 : 2000

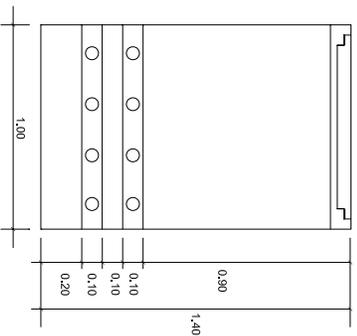
PROYECTO: AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA		PLANO 10.3
PLANO DE: RED DE DISTRIBUCION MEDIA TENSION 13.2 KV		
ACAD: R. S.L.	ESCALA: INDICADA	FECHA: ABRIL/2007
HOJE		

10.5 Registros



CAJA TIPO H

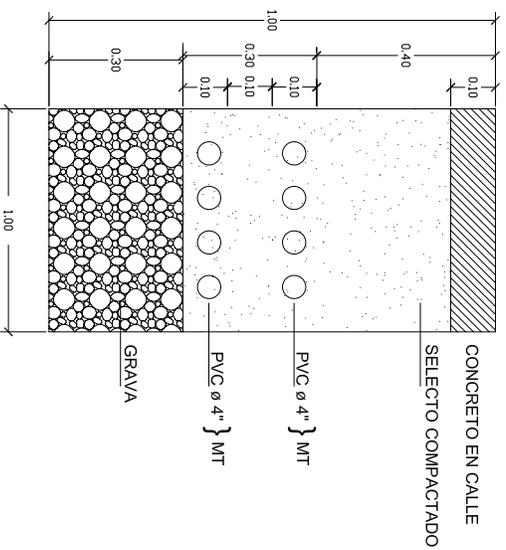
SIN ESCALA



CAJA TIPO "H" ESPECIAL

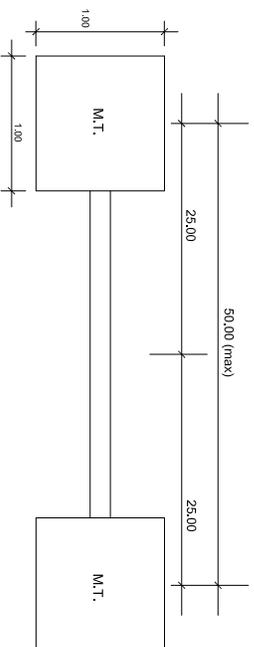
SIN ESCALA

NOTA: EL TIPO DE CAJA DE REGISTRO ESPECIAL FUE UTILIZADA PARA CANALIZAR UN TRAMO CON DIFERENTES NIVELES DE PISO ENTRE PISTA Y PISO DEL EDIFICIO FINGER NORTE EJE 40, VER PLANO 10.3.



DETALLE CANALIZACION SUBTERRANEA

Sin escala



DETALLE DE CANALIZACION SUBTERRANEA

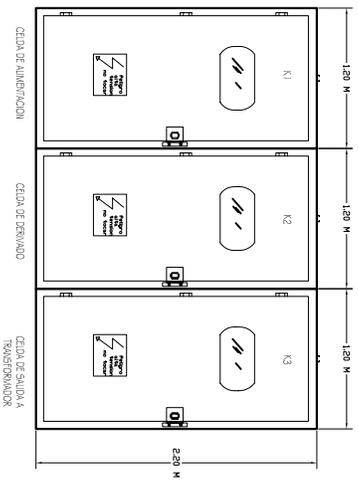
SIN ESCALA

PLANTA DE CANALIZACION

SIN ESCALA

PROYECTO: ABOQUEAMIENTO INTERNACIONAL LA AMBODA.			
PLANO DE CALAS DE REGISTRO PARA DISTRIBUCION DE REDEN TENSION			
ACABE	ESCALA:	FECHA:	HOJA:
R. S.J.	INDICACION	ABRIL/2007	1

10.6 Celdas de media tensión



VISTA FRONTAL CELDAS DE MEDIA TENSION

SIN ESCALA

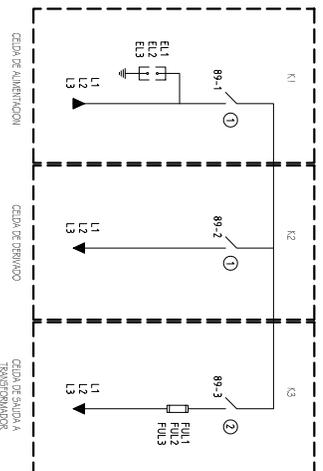
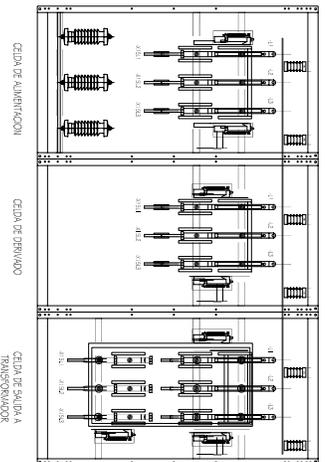


DIAGRAMA UNIFILAR

SIN ESCALA

DATOS TÉCNICOS	
TENSION NOMINAL	13,8 KV
TENSION MAXIMA	15 KV
TENSION DE IMPULSO VALOR CRESTA	95 KV
TENSION APLICADA	36 KV
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (I SC)	16,4 KV
CORRIENTE NOMINAL	630 A
FRECUENCIA NOMINAL	60 Hz
TIPO DE PROTECCION	NEMA 1
BARRAS COLECTORAS	6,35X50,8 mm
DESIGNACION DE FASIS	L1-L2-L3
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	1000 m

- SECCIONADOR TRIPOLAR OPERACION CON CARGA
MODELO LDTPT5864
- SECCIONADOR TRIPOLAR OPERACION CON CARGA
Y PORTA FUSIBLES MODELO LDTPT5864



VISTA FRONTAL INTERIOR

SIN ESCALA

PROYECTO: AEROPUERTO INTERNACIONAL LA ALIBRIDA			
PLANO 05: CELDAS DE MEDIA TENSION 13,2 KV.			
ICD:	ESCALA:	FECHA:	INDIC:
E. S.L.	INDICADA	ABR/2007	

CONCLUSIONES

1. La red de distribución subterránea construida en el Aeropuerto Internacional La Aurora, se construyó bajo reglas y normas específicas, con el fin de lograr un sistema seguro, confiable y que permita la continuidad del servicio eléctrico, contando para esto con dos circuitos dentro del anillo que alimenta en ambos sentidos las diferentes subestaciones eléctricas en caso de fallar uno de ellos. Además de contar con un sistema de respaldo confiable que sustituirá el sistema eléctrico suministrado por la empresa de servicio.
2. Se tomaron en cuenta buena cantidad de tuberías previstas para la red de distribución con el objetivo de futuras ampliaciones, así como en el caso de fallas en los conductores tener las tuberías para reemplazo.
3. Se consideró una carga estimada total del 70% del valor de las subestaciones eléctricas considerando un margen de crecimiento del 20%, además tomando en cuenta que las subestaciones cuentan con ventilación forzada, la cual brinda un 40% de capacidad adicional al valor nominal, aumentando el margen de crecimiento, dependiendo de los alimentadores eléctricos a tableros principales.
4. Para proteger la integridad física del personal de operación del nuevo sistema eléctrico, se realizó un sistema de tierras especial para aterrizar equipos eléctricos, así como puentes de abordaje y sistemas de protección electro atmosférica.

RECOMENDACIONES

1. El personal de operación deber ser capacitado con respecto a la nueva red de alimentación de media tensión, conocer su funcionamiento, para poder realizar seccionalizaciones en el caso de falla en alguna subestación o sector de alambrado entre dos subestaciones.
2. El sistema en anillo utilizado es confiable y seguro, permite mantener energía en las subestaciones en caso de falla en cualquier sector entre las mismas, se recomienda su utilización a partir de tres subestaciones o más, con lo cual pueden garantizar la continuidad del servicio eléctrico.
3. Como todo equipo eléctrico tiene una vida útil, por lo que se recomienda elaborar un programa de control de mantenimiento de celdas, registros tipo H, y terminaciones (mufas).

BIBLIOGRAFÍA

1. Enríquez, Harper Gilberto, **Protección de Instalaciones Eléctricas** Segunda edición. 1994.
2. Empresa Eléctrica de Guatemala, **Manual de Acometidas** 2004.
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución, NTDOID, 1999.
4. Siemens, Subestaciones, **catálogo** 2005.
5. National Electrical Code- 1990 **NEC**.
6. Condumex, **Catálogo Conductores Eléctricos** 2006.
7. Neagu Bratu Seban y Eduardo Campero Littlewood, **Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño**, Segunda edición.