

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y  
AMBIENTAL**

**CARRERA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



“DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES DE LAS  
SUBESTACIONES DE 20KV PARA EL PROYECTO: DISEÑO DEL  
ÁREA TERMINAL DOS Y NUEVA PISTA DEL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ”

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CAJACHAGUA ARCE, DIEGO ANGEL

**Villa El Salvador**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por todo su esfuerzo, por su apoyo día tras día y por estar siempre ahí cuando los he necesitado.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los compañeros de trabajos y amigos por su apoyo en la realización de este trabajo.

## INDICE

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Descripción de la realidad problemática.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. Delimitación del proyecto. ....</b>	<b>12</b>
<b>1.4. Formulación del problema. ....</b>	<b>12</b>
<b>1.5. Objetivos. ....</b>	<b>13</b>
1.5.1. Objetivo general. ....	13
<b>1.5.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO.....</b>	<b>15</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	15
2.2. Bases teóricas. ....	16
2.3. Marco conceptual.....	39
<b>CAPITULO III: DISEÑO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CABLE DE MEDIA TENSION EN 20kV.....</b>	<b>42</b>
3.1. ANALISIS DEL MODELO. ....	42
3.2. DISEÑO O SIMULACION DE LA HERRAMIENTA / MODELO. ....	50
3.3. REVISION Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS.....	59
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Subestación eléctrica.....	16
Figura 2: Cable unipolar.....	18
Figura 3: Cable multipolar.....	18
Figura 4: Partes de un conductor de Media Tensión.....	18
Figura 5: Cable para MT con apantallamiento en cinta de cobre.....	23
Figura 6: Cable para MT con apantallamiento en hilos de cobre.....	24
Figura 7: Disposición de los conductores en MT.....	26
Figura 8: Puesta a tierra de la pantalla del cable de MT.....	27
Figura 9: Radio de curvatura.....	27
Figura 10: Instalación de cables para MT, tres conductores por fase.....	28
Figura 11: Variación de la resistencia respecto a la temperatura.....	32
Figura 12: Efecto skin.....	36
Figura 13: Conductor N2SXY.....	37
Figura 14: Conductor NA2XSEY.....	38
Figura 15: Conductor NA2SA2Y.....	38
Figura 16: Conductor NA2XSEY.....	39

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de tensión en subestaciones. ....	17
Tabla 2: Características del conductor cobre y aluminio. ....	19
Tabla 3: Características principales entre el aislante XLPE y EPR ....	22
Tabla 4: Subestación principal 2-Area terminal. ....	44
Tabla 5: Subestación principal 2-Area de utilidades o servicios. ....	44
Tabla 6: Subestación principal 2-Area de pista y control. ....	45
Tabla 7: Representación esquemática de la distribución de las subestaciones en 20 kV. ....	46
Tabla 8: Parámetros generales. ....	47
Tabla 9: Calculo de la resistencia del conductor AC a 90°C. ....	50
Tabla 10: Cálculo de las perdidas dieléctricas. ....	51
Tabla 11: Cálculo del factor de pérdidas en la pantalla. ....	51
Tabla 12: Cálculo de la resistencia térmica. ....	52
Tabla 13: Corriente admisible en el conductor. ....	54
Tabla 14: Datos para cálculo de corriente de cortocircuito. ....	55
Tabla 15: Corriente de corto circuito admisible para conductor de 300mm <sup>2</sup> . ...	56
Tabla 16: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-01. ....	56
Tabla 17: Cálculos de la caída de tensión para la SE-01. ....	56
Tabla 18: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-03 ....	57
Tabla 19: Datos de parámetros del conductor para SE-03. ....	57
Tabla 20: Datos para el cálculo de la caída de tensión para S.E-05 ....	57
Tabla 21: Datos de parámetros del conductor para SE-05. ....	57
Tabla 22: Datos para el cálculo de la caída de tensión para S.E-07 ....	57
Tabla 23: Datos de parámetros del conductor para SE-07. ....	58

Tabla 24: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-09 .....	58
Tabla 25: Datos de parámetros del conductor para SE-09.....	58
Tabla 26: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-11 .....	58
Tabla 27: Datos de parámetros del conductor para SE-11.....	58
Tabla 28: Porcentaje de caída de tensión del anillo 1 y 4. ....	59
Tabla 29: Tabla de resultados I.....	61
Tabla 30: Tabla de resultados II.....	61

## INTRODUCCION

El aeropuerto internacional Jorge Chávez (AIJCH), ubicado en la provincia constitucional del Callao, provincia de Lima, Perú. Es el principal aeropuerto del país, fue inaugurado oficialmente el 30 de diciembre de 1965 por el ex presidente Fernando Terry. Posteriormente, el año 2001, el aeropuerto se privatizo, y la compañía concesionaria hasta la actualidad es Lima Airport Partners S.R.L. (LAP).

En el año 2016, se inicia el diseño conceptual del nuevo terminal 2 y la nueva pista de aterrizaje, con el objetivo de descongestionar el tráfico aéreo y convertir al país en el centro del tráfico aéreo internacional.

De esta forma, la disciplina eléctrica conforma uno de las especialidades más importantes para que se lleve a cabo este proyecto. Debido, a que la demanda de energía eléctrica que va a requerir es de gran envergadura y además por la importancia de este proyecto a nivel nacional e internacional, el cual va a requerir un excelente sistema eléctrico para el funcionamiento óptimo del aeropuerto.

La presente tesina, dará a conocer el dimensionamiento de los cables de media tensión, en 20 kV, para la alimentación desde la subestación principal de 20 kV hasta las subestaciones secundarias correspondientes a las diferentes áreas del proyecto "Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez".



## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática.**

El aeropuerto internacional Jorge Chávez (AIJCH), es el principal aeropuerto del país, en el cual se ha venido desarrollando un aumento de flujo de pasajeros a nivel nacional e internacional año tras año. Adicionalmente, podemos decir que el aeropuerto se encuentra vulnerable a cualquier problema que pueda ocurrir en la única pista que cuenta el AIJCH, un ejemplo de esto, ocurrió el 10 de mayo del 2016, “en el cual Cientos de pasajeros quedaron varados luego de que varios vuelos fueran cancelados y otros que debían de aterrizar en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez fueran desviados. Según informó LAP, un avión de la Fuerza Aérea del Perú (FAP) sufrió un desperfecto en una de sus llantas cuando aterrizaba. Ello obligó a cerrar la única pista con la que cuenta el terminal aéreo por casi tres horas”. (Diario El Comercio, 2016)

Para realizar este proyecto, la especialidad de instalaciones eléctricas deberá estar enfocada en dar el respaldo y la seguridad al sistema eléctrico, para el funcionamiento óptimo de todo el aeropuerto. Por lo tanto, el dimensionamiento de los alimentadores de las subestaciones eléctricas principales de 20 kV, tiene un rol protagónico, ya que debe estar seleccionado y dimensionado adecuadamente, con cálculos y procedimientos justificativos, para que finalmente se integre a todo el sistema eléctrico de aeropuerto.

## **1.2. Justificación del proyecto.**

El proyecto se justifica, debido al creciente tráfico de pasajeros en el aeropuerto Jorge Chávez ha crecido de 4.0 millones de viajeros en 2001 a aproximadamente 17.1 millones de pasajeros en el año 2015 (LAP, 2015). Por lo que, con la realización de este proyecto, LAP proyecta que podrá cubrir un tráfico de no menos de 30 millones de pasajeros al año 2030 (Diario El Comercio, 2016) .

Con respecto a sistema eléctrico, esto conlleva a realizar cálculos exhaustivos y rigurosos para dimensionar correctamente los alimentadores principales de las subestaciones en 20 kV, los cuales deben estar diseñados para soportar sobrecargas y cortocircuitos.

### **1.3. Delimitación del proyecto.**

El tema de este proyecto está enfocado al dimensionamiento de los cables de media tensión en 20 kV, desde la subestación principal hasta las subestaciones secundarias en el proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez”.

Cabe indicar, que se desarrollara solo el diseño del dimensionamiento de cables en 20 kV, más no la implementación, ejecución o estudio económico para este proyecto.

Asimismo, el tipo de cable a desarrollar en este trabajo será N2XSJ.

### **1.4. Formulación del problema.**

#### **1.4.1. Problema principal.**

¿Cuál será el dimensionamiento de los cables de media tensión en 20 kV desde la subestación principal hasta las subestaciones secundarias distribuidas dentro del área del proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez”?

#### **1.4.2. Problemas específicos.**

- a) ¿Cuáles serán los criterios para el dimensionamiento de cables de media tensión en 20 kV para el proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez?
  
- b) ¿Cuáles son los procedimientos a seguir para seleccionar la sección de los cables de media tensión de 20 kV para el proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez?

#### **1.5. Objetivos.**

##### **1.5.1. Objetivo general.**

Dimensionar los conductores de media tensión en 20 kV desde la subestación principal hasta las subestaciones secundarias distribuidas dentro del área del proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- a) Describir los criterios de selección para el dimensionamiento de los cables en media tensión en 20 kV para el proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez.
  
- b) Establecer los procedimientos para seleccionar la sección de los cables de media tensión de 20 kV para el proyecto “Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO.**

### **2.1. Antecedentes de la investigación.**

Cristopher Alvarado (2012). Selección de cable de potencia para el diseño de líneas de transmisión subterráneas y entradas a subestaciones de 230 kV. Tesis para obtener el título profesional, Universidad de Costa Rica. Costa Rica; en sus conclusiones manifiesta:

(a) Con la información correcta y el uso de la norma IEC 60287 se puede determinar la corriente máxima y la temperatura de operación del cable de potencia necesario para una aplicación dada, lo cual permite seleccionar la sección transversal que cumple con las condiciones solicitadas. (b) El uso de la norma IEC 60287 permite realizar la revisión de la información suministrada por proveedores de tal manera que se pueda comprobar, que el cable suministrado cumple con los requerimientos solicitados.

M. Galarza, D. Noboa, J. Gallo (2011). Proyecto de instalaciones subterráneas en media tensión. Artículo científico. Escuela superior Politécnica del Litoral. Ecuador; en sus conclusiones manifiesta: (a) En una instalación subterránea tenemos mayor confiabilidad, seguridad, imagen urbana, continuidad en el servicio, menor impacto visual en comparación con una instalación aérea. (b) Las pantallas pueden ser semiconductoras sobre el conductor o sobre el aislamiento tienen como función crear una superficie equipotencial para uniformar el campo eléctrico en el dieléctrico y confinarlo.

## 2.2. Bases teóricas.

### 2.2.1 Subestación eléctrica.

- Concepto. “Las subestaciones son las componentes de los sistemas de potencia en donde se modifican los parámetros de tensión y corriente, sirven además de punto de interconexión para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica y pueden clasificarse de acuerdo a su función y construcción.” (Montecelos, 2015)



**Figura 1:** Subestación eléctrica. Fuente: Montecelos.

Los niveles de tensión usuales en subestaciones se muestran en la tabla 1: Niveles de tensión en subestaciones.

Transmisión	Subtransmision	Distribución	Utilización
400 kV	115 kV	34.5 kV	400 V, 3ø
230 kV	69 kV	23.0 kV	220 V, 2ø
		13.8 kV	110 V, 1ø

Tabla 1: Niveles de tensión en subestaciones. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2.2 Conductores eléctricos para redes subterráneas en MT.

### 2.2.2.1 Definición de cable.

Se denomina cable, en general, al conjunto formado por uno o varios conductores cableados, adecuadamente aislados, casi siempre provistos de uno o más recubrimientos protectores. Se llama pieza a la longitud de cable que es el objeto de suministro; esta longitud es del orden de decenas o centenas de metros, y un suministro puede incluir varias piezas. (Vásquez, 1974)

### 2.2.2.2 Configuración general de los cables subterráneos.

Los cables subterráneos pueden ser unipolares y multipolares.

**Los cables unipolares.** Estan constituidos por un solo conductor que casi siempre es de seccion circular, con el correspondiente aislamiento y los recubrimientos protectores que sean necesarios contra la corrosión, deterioros mecánicos, etc.; pueden ser o no ser armados.





Figura 2: Cable unipolar. Fuente: Catalogo Ceper.

**Los cables multipolares.** Estan constituidos por 2 o mas conductores independientes, incluyendo los eventuales conductores de neutro y de protecci3n.



Figura 3: Cable multipolar. Fuente: Catalogo Ceper.

### 2.2.2.3 Partes del cable conductor subterraneo en MT.

Los conductores electricos para redes en media tension presentan las siguientes partes:

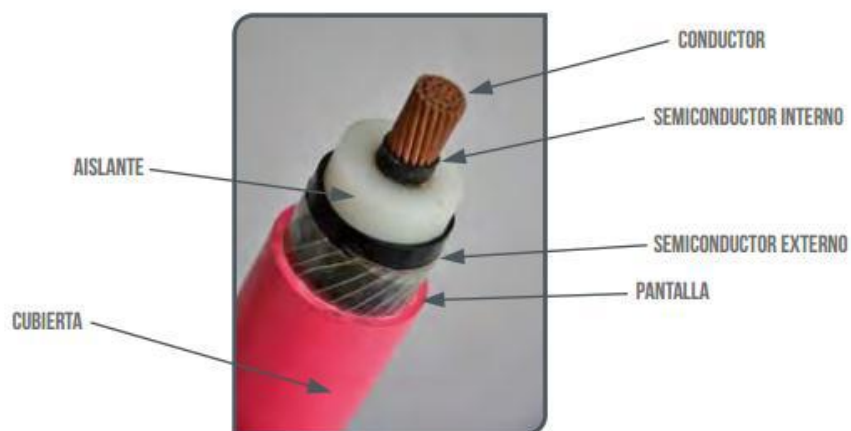


Figura 4: Partes de un conductor de Media Tensi3n.

Fuente: Catalogo Ceper.

**1. Conductor.** Los conductores están constituidos por cuerdas redondas compactas de cobre recocido o de aluminio. La compactación permite obtener superficies más lisas y diámetros de cuerdas menores que los de las cuerdas normales de igual sección nominal. (Cables, 2016)

Los conductores deben satisfacer las especificaciones de las Normas internacionales IEC 60228 y UL-1581. Entre estas consideraciones está:

- Para una misma carga, la sección transversal del aluminio debe ser aproximadamente un 55% superior a la del cobre.
- Para secciones transversales iguales del conductor, la carga de un cable de aluminio es el 78% de la del cable de cobre.

		COBRE SUAVE	ALUMINIO 1350
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	8,89	2,705
Resistividad	Ω - mm <sup>2</sup> /km	17,241	28,172
Conductividad	(%IACS)	100,0	61,2
Tensión de Rotura	MPa	220	155 - 200
Elongación a Rotura	%	25 - 30	1,4 - 2,3
Norma ASTM (NTC)		B3 (359)	B230 (360)
Resistencia a la Corrosión		Excelente	Buena

Tabla 2: Características del conductor cobre y aluminio. Fuente: Catalogo Centelsa.

A pesar de las mejores cualidades del cobre, el factor económico es muy importante y en la mayoría de los casos por lo que por lo general el conductor elegido es el aluminio.

**2. Capa semiconductor interna.** A partir de la tensión de 3,3 kV los conductores aislados con polietileno reticulado van recubiertos de una capa semiconductor cuya función es doble:

a) Impedir la ionización del aire que, en otro caso, se encontraría entre el conductor metálico y el material aislante (efecto corona). La capa semiconductor forma cuerpo único con el aislante y no se separa del mismo ni aún con las dobladuras a que el cable pueda someterse, constituyendo la verdadera superficie equipotencial del conductor. Los eventuales espacios de aire quedan bajo esta superficie y, por lo tanto, fuera de la acción del campo eléctrico.

b) Mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor. Dicha capa, gracias a su conductividad, convierte en cilíndrica y lisa la superficie del conductor, ya que puede concebirse como parte integrante del mismo, eliminando así los posibles focos de gran sollicitación eléctrica en el aislamiento.

**3. Aislamiento.** Las propiedades de los aislamientos usados en los cables para Media Tensión cumplen con todos los requisitos para su correcto desempeño. Sin embargo, existen características tanto eléctricas como mecánicas que destacan uno u otro tipo de material.

- El Polietileno de cadena cruzada o XLPE (Cross-Linked Polyethylene) es el tipo de material de aislamiento mas usado en los cables para Media Tensión.
- El Caucho de Etileno Propileno o EPDM (Ethylene Propylene Rubber) es usado en menor proporción; ambos son materiales a los cuales se les aplica el proceso de reticulación (vulcanización), por medio del cual se logra que los materiales adquieran características termoestables. La tabla 2 muestra las características más importantes de ambos materiales.

El aislamiento de los cables mas utilizado es el primero que está constituido por un polietileno termoestable (Químicamente Reticulado). Este material presenta una muy buena rigidez dieléctrica, bajo factor de pérdidas y una excelente resistencia de aislamiento.

La excelente estabilidad térmica del polietileno reticulado le capacita para admitir en régimen permanente temperaturas de trabajo en el conductor de hasta 90° C, tolerando temperaturas de cortocircuito de 250°c.

La marcada estabilidad al envejecimiento, la elevada resistencia a los agentes químicos, la tenacidad mecánica y eléctrica, son las propiedades más destacadas que hacen del polietileno químicamente reticulado un material apropiado para el aislamiento de cables.

El polietileno reticulado responde a todas las exigencias que se especifican en las principales Normas en uso, en particular la IEC60840 o la IEC 62067, según el nivel de tensión requerido.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	XLPE	EPR
Rigidez dieléctrica	kV/mm	25	25
Permitividad Eléctrica		2,1	2,3
Factor de Pérdidas (Tangente Delta)	%	0,1	1,5
Constante de Aislamiento	Mohm-km	6100	6100
Resistencia a la Ionización		Buena	Muy Buena
Resistencia a la Humedad		Muy buena	Excelente
Color		Traslúcido opaco	Rojizo
Temperatura de Operación	°C	90	90
Temperatura Máxima de Sobrecarga*	°C	130	130
Temperatura Máxima en Corto circuito**	°C	250	250
Principales Ventajas		Bajo factor de pérdidas	Flexibilidad

\* Los tiempos de operación en sobrecarga no debe exceder 1500 horas acumuladas durante la vida útil del cable. Adicionalmente es recomendable que los periodos continuos en sobre carga no excedan dos horas.  
 \*\* Los tiempos de duración de un corto circuito son normalmente menores a un segundo

Tabla 3: Características principales entre el aislante XLPE y EPR.  
 Fuente: Catalogo Centelsa.

**4. Capa semiconductora Externa.** Se emplea en los cables aislados con polietileno reticulado a partir de la tensión de 3,3 kV. La capa Semiconductora externa se coloca sobre la aislación de XLPE y tiene el propósito de evitar que entre la pantalla y el aislamiento quede una capa de aire ionizable con zonas de alta sollicitación eléctrica en el seno del aislamiento.

La capa semiconductora externa está formada por una mezcla extruida y reticulada de características químicas semejantes a la del aislamiento, pero de baja resistencia eléctrica.

A efectos de evitar las dificultades de separación entre el aislamiento y la capa semiconductora externa en el momento de

confeccionar empalmes o terminales, se separa fácilmente del aislamiento sin tener que recurrir a herramientas especiales, dejando el aislamiento completamente limpio.

**5. Blindaje o Pantalla.** Está constituido por una capa conductora colocada sobre el aislante y conectada a tierra, que tiene por principal objetivo crear una superficie equipotencial para uniformar el campo eléctrico radial en el dieléctrico. La pantalla sirve además, para blindar al cable de campos externos y como protección para el personal, mediante su conexión efectiva a tierra. El blindaje de un cable puede ser metálico o de algún material semiconductor; puede presentarse en las tres configuraciones siguientes:

- **Pantalla en cinta de cobre.** Consiste en una pantalla de cinta de cobre que se aplica de forma helicoidal sobre el blindaje del aislamiento recubriéndolo en su totalidad (traslapado) o en forma parcial (abierta).

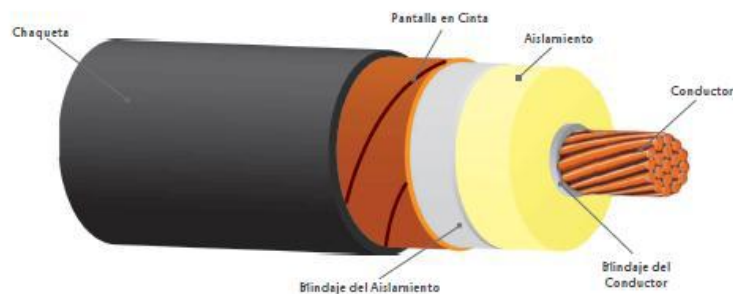


Figura 5: Cable para MT con apantallamiento en cinta de cobre.

Fuente: Catalogo Centelsa.

- **Pantalla en hilos de cobre.** Está conformada por una cantidad de hilos de cobre distribuidos uniformemente sobre el blindaje del aislamiento. De acuerdo al perímetro del cable aislado dependerá la cantidad de hilos que se colocarán como pantalla.

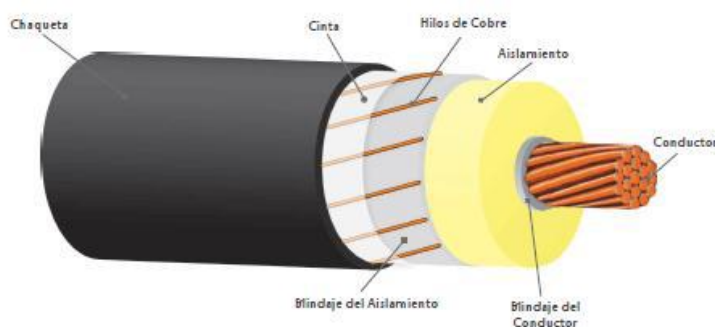


Figura 6: Cable para MT con apantallamiento en hilos de cobre.

Fuente: Catalogo Centelsa.

- 6. Armadura.** Los cables de potencia para propósitos especiales deben ser enmarcados o blindados con flejes o alambres de acero colocados sobre el blindaje y separados por una capa semiconductor, si fuera el caso de que el material del blindaje y al armadura son distintos. La función de esta capa es incrementar la resistencia mecánica del cable.
- 7. Cubierta Exterior.** Generalmente la capa externa es una mezcla a base de policloruro de vinilo, según la Norma UNE 21-123 para este tipo de cables. Cuando la protección deba estar prevista desde un punto de vista químico, la cubierta externa se realiza con un material termoplástico seleccionado para que cumpla con las necesidades de protección de carácter químico, así como para

conservar mecánicamente la capa que se encuentra bajo esta ya sea la armadura o el blindaje. Debe cumplir los siguientes aspectos:

- **Resistencia a la humedad.** La capacidad del material para impedir la penetración de la humedad al interior del cable.
- Comportamiento frente a la llama.
- **Resistencia a los rayos UV.** Es importante en aquellas instalaciones en donde el cable recibirá la radiación solar de forma directa o en intervalos de tiempo extendidos.
- Resistencia al impacto y la abrasión.
- Resistencia a los hidrocarburos.

#### **2.2.2.4 Disposición de los conductores.**

Para un sistema trifásico los conductores pueden ser colocados de distinta manera, entre los mas comunes son en trébol (trifoil formation) y formación plana (flat formation). La selección de método de instalación depende de distintos factores como: la conexión de las pantallas metálicas, la sección transversal de conductor y el espacio disponible para la instalación. Esto partiendo de que aún no se tiene el cable, si se desea adaptar un cable disponible hay factores como la corriente y la disipación de temperatura del cable que juegan un papel muy importante en la selección del tipo de instalación.



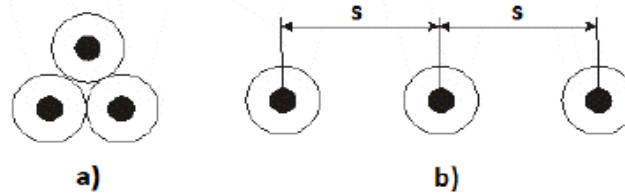


Figura 7: Disposición de los conductores en MT. Fuente: Alvarado, C.

### 2.2.2.5 Puestas a tierra de las pantallas de los cables para media tensión.

“El proceso de puesta a tierra de un cable para Media Tensión es importante ya que este tiene implicaciones eléctricas que afectan de forma directa el desempeño del mismo y la seguridad de instaladores y usuarios.” (Centelsa, 2008)

En los cables para Media Tensión, es una práctica común aterrizar los apantallamientos metálicos del cable en un extremo de la instalación para longitudes cortas y en cada uno de los extremos de los pozos de visita para longitudes largas. En el primer caso se asegura que no hayan corrientes circulantes por la pantalla, pero pueden inducirse tensiones en la misma que pueden afectar al personal de operación o mantenimiento, en el segundo caso se minimiza el efecto de inducción de tensiones en la pantalla, pero se crea la posibilidad de que existan corrientes circulantes por la pantalla, que causan calentamiento del cable y por consiguiente una disminución de la capacidad de corriente del cable. Otra práctica consiste en aterrizar la pantalla en cada uno de las cámaras de inspección (Manholes) por los cuales pasa el

cable para Media Tensión, con las mismas características del caso anterior.

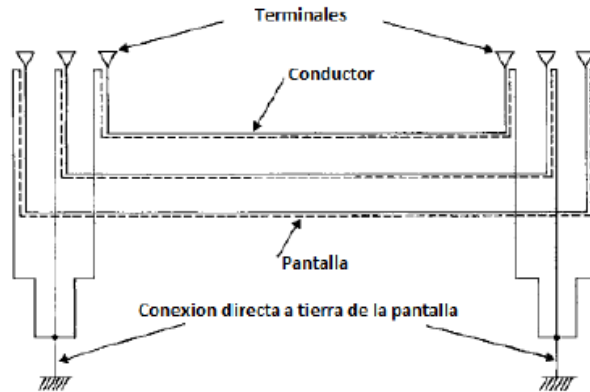


Figura 8: Puesta a tierra de la pantalla del cable de MT. Fuente: Alvarado, C.

#### 2.2.2.6 Radio de Curvatura.

Es el máximo doblado que se le puede dar a un cable garantizando que las propiedades eléctricas y mecánicas de sus componentes no se alteren, es decir sin producir daños en el cable.



Figura 9: Radio de curvatura. Fuente: Catalogo Centelsa.

En la práctica se recomienda que el radio de curvatura mínimo para los cables para Media Tensión (sin armaduras) en instalación no debe ser inferior a 12 veces el diámetro exterior del mismo.

### 2.2.2.7 Instalaciones con mas de un conductor por fase (numero de ternas por fase)

Quando la necesidad de transporte de corriente hace que sea requerido usar mas de un conductor por fase, es recomendable que el calibre de los conductores sea el mismo, ya sea que se requieran dos o más conductores por fase y que adicionalmente la instalación se haga por ternas; es decir, Fase A, Fase B y Fase C, deberían ir juntas, en lo posible trenzadas entre sí, y separadas de la siguiente terna, por lo menos a una distancia equivalente al diámetro de la terna. Lo anterior con el fin de evitar efectos adversos debidos a la inducción que se puede ocasionar en este tipo de instalaciones. (Centelsa, 2008)



Figura 10: Instalación de cables para MT, tres conductores por fase.  
Fuente: Catalogo Centelsa.

### **2.2.3 CLASE DE CONDUCTORES SEGÚN LA IEC-60228.**

Internacionalmente la fabricación de conductores para cables eléctricos aislados se ajusta a las prescripciones de la Norma IEC 60228, en ella se indica que la formación de un conductor se define por el número de alambres que lo componen y por el diámetro nominal de los mismos. El grado de rigidez o flexibilidad viene definido por las diferentes clases se indican a continuación:

- Clase 1: Corresponde a los conductores compuestos por un solo alambre.
- Clase 2: Corresponde a los conductores compuestos por varios alambres cableados, donde se especifica el número mínimo que cada sección debe llevar.
- Clase 5: Corresponde a los conductores de hilos flexible.
- Clase 6: Corresponde a los conductores de hilos muy flexible.

### **2.2.4 DESIGNACION DE LOS CABLES.**

Los cables de Media Tensión también muestran una nomenclatura específica, su designación está formada por letras y números, cada uno con un significado.

Esta codificación identifica características unívocas del cable, como por ejemplo el material del que está fabricado o la tensión nominal, entre ellas podemos mencionar:

- N: Conductor de cobre.
- NA: Conductor de aluminio.
- G: Aislamiento y cubierta de goma
- Y: Aislamiento o cubierta de PVC
- 2Y: Cubierta o polietileno termoplastico (PE)
- 2X: Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE)
- S: Pantalla de cobre de un cable unipolar o comun de un cable multipolar.
- SA: Pantalla de aluminio de un cable unipolar o comun de un cable multipolar.
- SE: Pantalla de cobre sobre cada conductor en un cable multipolar.
- SEA: Pantalla de aluminio sobre cada conductor en un cable multipolar.
- C: Conductor concentrico de cobre.
- CE: Conductor concentrico de cobre sobre cada conductor en un cable Multipolar.
- B: Armaduras de fletes de acero.
- R: Armadura de alambres de acero.
- RA: Armadura de alambres de aluminio o de aleacion de aluminio.
- K: Cubierta de plomo.

## 2.2.5 PARÁMETROS ELECTRICOS DEL CONDUCTOR.

### 2.2.5.1 Resistencia eléctrica del conductor en DC ( $R_{dc}$ ).

Es un parámetro que caracteriza a los cables, esta resistencia depende de la longitud, la sección y la naturaleza del conductor o resistividad. “Por tanto la resistencia es independiente del valor de frecuencia de la red; la resistencia esta dada por la siguiente expresión”: (German Santamaria, 2009).

$$R_{cd} = \rho * \frac{L}{S}$$

Donde:

- $R_{cd}$  = Resistencia del alambre a la corriente directa a 20 °C ( $\Omega$ )
- $\rho$  = Resistividad eléctrica del conductor a 20°C ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ )
- $L$  = Longitud del alambre (km)
- $S$  = área de la sección transversal de cada alambre ( $\text{mm}^2$ )

### 2.2.5.2 Corrección por temperatura de la resistencia a la corriente directa.

Es necesario hacer esta corrección dado que cuando la temperatura de un conductor aumenta, la resistencia también aumenta de forma significativa, tal y como se muestra en la gráfica en donde se comparan justamente éstos dos parámetros, la resistencia y la temperatura. (UNAM)

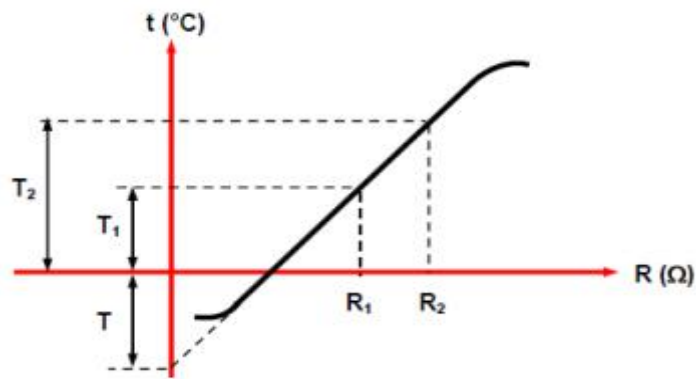


Figura 11: Variación de la resistencia respecto a la temperatura.  
Fuente: UNAM

Para hallar la resistencia con factor de corrección por temperatura aplicamos la siguiente formula:

$$R' = R_{cd} * \alpha(T - 20)$$

Donde:

- $R_0$  = Resistencia del cable a la temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$
- $\alpha$  = Coeficiente térmico de resistividad eléctrica a  $20^{\circ}\text{C}$  ( $1/^{\circ}\text{C}$ )
- $T$  = temperatura del medio donde estara el conductor ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.2.5.3 Resistencia eléctrica de un conductor al paso de la corriente alterna.

Cuando se hace pasar corriente alterna a través de un conductor se produce la inducción de un campo magnético, y si cerca de éste se coloca un conductor más y se pone en movimiento se induce una diferencia de potencial, y al suceder esto, se provoca un aumento de la resistencia y como

consecuencia un aumento en las pérdidas eléctricas por efecto Joule.

Para hallar la resistencia al paso de la corriente alterna aplicamos la siguiente formula:

$$R_{ca} = R'(1 + Y_S + Y_P)$$

Donde:

- $R'$  = Resistencia en cd a la temperatura de operación. ( $\Omega$ )
- $Y_S$  = Factor de corrección por efecto piel.
- $Y_P$  = Factor de corrección por efecto de proximidad.

El efecto piel es de mayor magnitud cuando se trata de conductores con grandes secciones y a frecuencias elevadas, por lo cual es importante calcularlo. Para calcular el Factor de corrección por efecto piel se tiene la siguiente formula:

$$Y_S = \frac{X_s^4}{192 + 0.8(X_s^4)}$$

$$X_s^2 = \frac{8\pi f}{R'}(10^{-7})K_S$$

Donde:

- $f$  = frecuencia del sistema (Hz)
- $K_S$  = Constante según tipo de conductor.



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

Donde:

- $Y_p$  = Factor de corrección por efecto proximidad.
- $d_c$  = Diámetro del conductor (mm)
- $Y_s$  = Factor de corrección por efecto de piel.
- $s$  = Distancia entre ejes de los conductores (mm)
- $K_p$  = Constante según tipo de conductor.

#### 2.2.5.4 Inductancia (L).

Cuando circula corriente de magnitud variable en el tiempo a través de un conductor eléctrico, se origina un flujo magnético también variable que enlaza no solamente al conductor en el cual la corriente está circulando, sino que también afecta a los demás conductores del circuito, por los cuales también circulan corrientes de la misma naturaleza.

Por lo tanto, se conoce como inductancia a la razón de la variación del flujo magnético con respecto a la variación de la corriente en el tiempo. Su unidad es el henrio (H).

### **2.2.5.5 Reactancia Inductiva (X<sub>L</sub>).**

La reactancia inductiva tiene dos elementos a considerar, cuando no existen corrientes inducidas en las pantallas y cuando existen corrientes inducidas en éstas. En cables de energía con pantalla de alambres de cobre y que tienen conexión a tierra en dos o más puntos se van a producir corrientes circulantes que se van a ver limitadas dado que la sección de la pantalla es pequeña y su resistencia eléctrica alta, lo cual se calcula de la siguiente manera, en donde se toma en cuenta la frecuencia del sistema y el valor de la inductancia total: La reactancia inductiva se cuantifica mediante la expresión:

$$X_L = 2 * \pi * f * L$$

Donde:

- $X_L$  = Reactancia inductiva ( $\Omega/\text{km}$ )
- $f$  = frecuencia del sistema (Hz)
- $L$  = Inductancia (H/km).

### **2.2.5.6 Efecto Skin o Efecto de piel.**

Consiste en la tendencia de la corriente a acumularse en la capa externa del conductor debido a la autoinducción del mismo, lo cual da un aumento de la resistencia efectiva del conductor. (Donald G, 1981).

Cuando se trata de corriente alterna o directa transmitida a muy baja frecuencia la corriente se distribuye de forma uniforme a través de todo el conductor, sin embargo cuando se aumenta la frecuencia sucede que la corriente circula solamente por la superficie exterior del conductor.

El efecto piel provoca que la resistencia de corriente alterna sea mayor que la de corriente directa, y aún más, cuando se presentan variaciones en la frecuencia, también existen variaciones en la resistencia eléctrica.



Figura 12: Efecto skin. Fuente: Ecured.

#### 2.2.5.7 Efecto de proximidad.

Cuando un conductor por el que fluye una corriente alterna se encuentra cercano a otro que transporta corriente de iguales características pero de sentido contrario, crea una resta vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia en las caras próximas y un aumento en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución

no uniforme de la densidad de corriente y un aumento aparente de la resistencia efectiva, la cual se calcula afectando la resistencia original por un factor  $Y_p$ .

## 2.2.6 CABLES SUBTERRANEOS COMERCIALES EN EL PERÚ.

Los Cables de Media Tensión en nuestro país generalmente son los que poseen aislamiento termoestable a base de XLPE, que son utilizados principalmente en redes de distribución, instalaciones industriales, centrales eléctricas y subestaciones de transformación. Entre los más comerciales podemos mencionar:

- N2SXY. Conductor de cobre unipolar, adecuados para instalaciones tanto horizontales como verticales, sujetas o no a vibraciones, en ambientes secos o húmedos, para tendidos subterráneos.

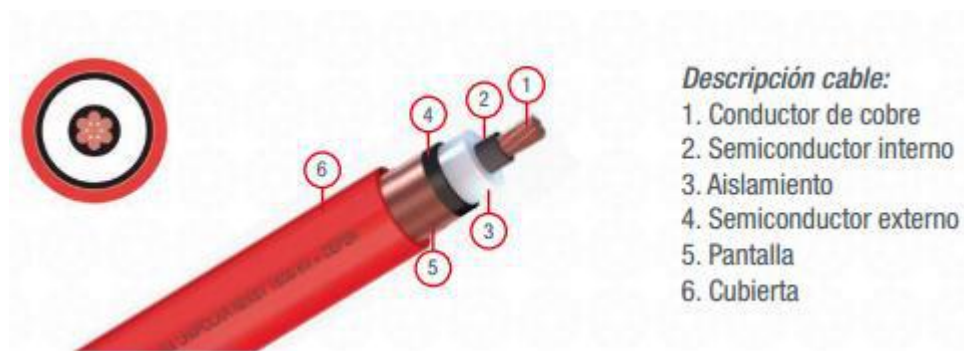


Figura 13: Conductor N2SXY. Fuente: Catalogo Ceper.

- N2XSEY. Conductor de cobre multipolar, adecuados para instalaciones tanto horizontales como verticales, sujetas o no a vibraciones, en ambientes secos o húmedos, para tendidos subterráneos.



Figura 14: Conductor NA2XSEY. Fuente: Catalogo Ceper.

- NA2SA2Y. Conductor de aluminio unipolar, adecuados para instalaciones tanto horizontales como verticales, sujetas o no a vibraciones, en ambientes secos o húmedos, para tendidos subterráneos.



Figura 15: Conductor NA2SA2Y. Fuente: Catalogo Ceper.

- NA2XSEY. Conductor de aluminio multipolar, adecuados para instalaciones tanto horizontales como verticales, sujetas o no a vibraciones, en ambientes secos o húmedos, para tendidos subterráneos.



Figura 16: Conductor NA2XSEY. Fuente: Catalogo Ceper.

### 2.3. Marco conceptual.

CNE: Código Nacional de Electricidad.

Corriente Foucault. Conocida también como corriente parásita; se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa. El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor.

Cortocircuito. Aumento brusco de intensidad en la corriente eléctrica de una instalación, por la unión directa de dos conductores de distinta fase.

Diagrama unifilar. Es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella.

IEC. Abreviatura de International Electro-technical Commission [Comisión Electro-Técnica Internacional]. Esta organización se relaciona con los equipos utilizados a nivel internacional.

ICEA. Abreviatura de Insulated cable Engineers Association (el cable aislado asociación de ingenieros). Esta organización está dedicada a las normas de cable para el desarrollo de energía eléctrica.

LAP (Lima Airport Partners) Es una empresa operadora de aeropuertos en el Perú, el consorcio está conformado por las empresas Fraport AG, la internacional finance Corporation y el fondo de inversión en infraestructura.

Parking. Zona señalizada en la vía pública, en un edificio o en un local destinada a aparcar vehículos, generalmente pagando una cantidad de dinero.

Rigidez dieléctrica. Es el valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aislante y pasa a ser conductor. Se mide en voltios por metro V/m.

Semiconductor. Es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

Subestación eléctrica. Es un conjunto de instalaciones, incluyendo las eventuales edificaciones requeridas para albergarlas, destinada a la transformación de la tensión eléctrica y/o al seccionamiento del circuito.

Switchgear: Ensamble integrado de interruptores de circuito removibles, en compartimientos, dispositivos de control asociados y equipo auxiliar diseñado para proporcionar una protección de circuito de media tensión.

Termoestable. Los termoestables hacen referencia al conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura final altamente reticulada. No se funden al elevarlos a altas temperaturas, sino se queman.

Termoplástico. Es un plástico que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros.

Red radial. La corriente eléctrica circula en una sola dirección, lo que ofrece un control sencillo del flujo ya que es realizado exclusivamente del centro de alimentación.

Red en Anillo. Esta topología se caracteriza por tener dos de sus extremos alimentados, quedando estos intercalados en el anillo.



## **CAPITULO III: DISEÑO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CABLE DE MEDIA TENSION EN 20kV.**

### **3.1. ANALISIS DEL MODELO.**

#### **3.1.1. Descripción general del proyecto.**

Este proyecto, el cual es de gran envergadura a nivel nacional, se está desarrollando por etapas, los cuales se tienen que ir cumpliendo con los requisitos que exige cada fase del proyecto. Actualmente, este proyecto se encuentra en la etapa de diseño conceptual, es decir, se ha desarrollado el análisis, los lineamientos y compatibilizaciones generales de todas las especialidades.

Para realizar esta tesina, se requiere conocer la delimitación física y áreas generales del proyecto. En el anexo 12, se muestra el área total del aeropuerto, el cual incluye el existente (actualmente

funcionando) y el proyecto el cual se va a desarrollar. Asimismo, se puede observar las áreas del proyecto, los cuales son: terminal 2, estacionamiento o parking, utilidad o servicios, pista de aterrizaje 2, torre de control y estación de rescate, calle de rodaje y la proyección de un futuro centro comercial. Luego, en el anexo 13, se muestra la distribución y ubicación de la subestación principal y secundarias, con su respectiva proyección del recorrido de los banco ductos de concreto, por donde irán los cables alimentadores, estos últimos será lo que tendremos que dimensionarlos.

En el anexo 14, se muestran el diagrama unifilar de la subestación principal de 20kV, acá es donde se instalara el switchgear de 24kV, para energizar a todas las subestaciones secundarias. Estos últimos, han sido divididas en cargas esenciales y no esenciales, finalmente, la configuración de las subestaciones secundarias son del tipo anillo y radial.

A continuación, se muestran las subestaciones secundarias, divididos en su respectiva tipo de configuración y clasificación de cargas.

Para el área del terminal, las subestaciones eléctricas serán energizadas mediante redes eléctricas tipo anillo.

Tabla 4: Subestación principal 2-Area terminal.

	<b>S.E. PRINCIPAL 2</b>	
	<b>Cargas Esenciales</b>	<b>Cargas No Esenciales</b>
<b>Anillo 1</b>	Subestaciones Impares	
<b>Anillo 2</b>	Subestaciones Pares	
<b>Anillo 4</b>		Subestaciones Impares
<b>Anillo 5</b>		Subestaciones Pares
Elaboración: Propia Fuente: Cosapi		

Para el área de utilidades o servicio, las subestaciones eléctricas serán energizadas mediante redes eléctricas del tipo radial.

Tabla 5: Subestación principal 2-Area de utilidades o servicios.

	<b>S.E. PRINCIPAL 2</b>		<b>S.E. N°5</b>
	<b>Cargas Esenciales</b>	<b>Cargas No Esenciales</b>	<b>Cargas No Esenciales</b>
<b>S.E. Chiller</b>	1 Alimentador	1 Alimentador	
<b>S.E. Parking</b>	1 Alimentador		
<b>S.E. Bloque Sanitario</b>	1 Alimentador	1 Alimentador	
<b>S.E. Data Center</b>		2 Alimentador	
<b>S.E. Estación de Rescate</b>			1 Alimentador
Elaboración: Propia Fuente: Cosapi			

Para el área de pista y torre de control serán energizadas mediante redes eléctricas tipo anillo y radial respectivamente.

Tabla 6: Subestación principal 2-Area de pista y control.

	<b>S.E. PRINCIPAL 2</b>	
	<b>Cargas Esenciales</b>	<b>Cargas No Esenciales</b>
<b>Anillo 3 (Pista2) SE-51/52/53/54</b>	Tipo Anillo	
<b>S.E. Torre de Control</b>	Tipo Radial	
Elaboración: Propia Fuente: Cosapi		

Finalmente, se muestra en la tabla 7, un resumen de todas las subestaciones eléctricas de distribución en 20kV distribuidos en toda el área del proyecto diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez. Asimismo, se indica por cada subestación de distribución, su respectivo tipo de configuración de la red, la codificación o nombre y potencia (kVA). Los alimentadores de estas subestaciones serán dimensionados en la presente tesina.

Tabla 7: Representación esquemática de la distribución de las subestaciones en 20kV.

Tipo de red	SUBESTACION	NOMBRE	POTENCIA (KVA)
ANILLO 1-4	SE-1	Terminal 2	2-2500
	SE-3	Terminal 2	2-2500
	SE-5	Terminal 2	2-2500
	SE-7	Terminal 2	2-2500
	SE-9	Terminal 2	2-2500
	SE-11	Terminal 2	2-2500
ANILLO 2-5	SE-2	Terminal 2	2-2500
	SE-4	Terminal 2	2-2500
	SE-6	Terminal 2	2-2500
	SE-8	Terminal 2	2-2500
	SE-10	Terminal 2	2-2500
RADIAL	SE-12	Terminal 2	2-1600
	SE-20	Chiller	2-3000
			2-2500
	SE-21	Parking	500
	SE-22	Bloque sanitario	1500
	SE-23	Data center	500
	SE-24	Data center	500
SE-41	Torre de control	800	
ANILLO 3	SE-54	Pista 2	400
	SE-53	Pista 2	400
	SE-52	Pista 2	50
	SE-51	Pista 2	50
Elaboración: Propia Fuente: Cosapi			

### 3.1.2. Parámetros Generales.

Para realizar el dimensionamiento de los alimentadores principales, se requiere que cumpla con 3 criterios, de esta forma podemos indicar que la sección del cable es el adecuado para que trabaje en esas condiciones, los 3 criterios son los siguientes:

- Calculo de la intensidad máxima admisible en servicio
- Calculo de corriente de corto circuito.

- Calculo de caída de tensión.

Antes de realizar los cálculos, necesitamos tener unos parámetros establecidos tanto del sistema eléctrico como del cable que deseamos dimensionar (ver ficha técnica del cable a dimensionar en el anexo 11); ya que, sin esto, no existiría un punto de partida para los cálculos, a continuación de indican los siguientes parámetros generales:

Cabe indicar, que las tablas, formulas y procedimientos realizados en el presente trabajo, están basados en la norma internacional IEC 60287, en donde se indican con detalle los conceptos, procedimientos, formulas, tablas y recomendaciones para el cálculo del dimensionamientos de cables eléctricos arriba de 5kV.

Finalmente, luego, de tener estos parámetros generales (ver tabla 8), se procederá a realizar los cálculos para el dimensionamiento del alimentador correspondiente al del anillo 1 y 4.

*Tabla 8: Parámetros generales.*

Nivel de voltaje entre fases	=	20,0 kV
Nivel de voltaje entre fase y tierra	=	11,5 kV
Factor de potencia (Cos $\phi$ )	=	0,80
Frecuencia del sistema	=	60 Hz
Número de conductores por cable	=	1 und.

Material del conductor (forma redonda, compacta)	:	Cobre
Material del aislamiento	:	XLPE
Material de las capas semiconductoras	:	PE
Material de la pantalla metálica	:	Alambre de cobre
Material de la chaqueta externa	:	PVC
Sección transversal del conductor	=	300,0 mm <sup>2</sup>
Diámetro exterior del conductor ( $d_C$ )	=	19,50 mm
Espesor de la pantalla semiconductoras del conductor	=	0,17 mm
Diámetro exterior de la pantalla semiconductor del conductor ( $d_{C2}$ )	=	19,83 mm
Espesor del aislamiento (XLPE)	=	8,00 mm
Diámetro exterior del aislamiento ( $D_i$ )	=	35,83 mm
Espesor de la pantalla semiconductoras del aislamiento	=	0,17 mm
Diámetro exter. de la pantalla semicond. del aislamiento	=	36,16 mm
Características pantalla metálica		
N° de alambres de cobre	=	19 und.
Diámetro del alambre de cobre	=	0,65 mm
Sección de la pantalla de cobre	=	25 mm <sup>2</sup>
Diámetro medio de la pantalla ( $d$ )	=	36,81 mm
Espesor de cinta aisladora	=	0,0 mm
Espesor total de la pantalla + cinta aisladora	=	0,65 mm
Diámetro exterior: pantalla + cinta aisladora	=	37,46 mm
Espesor de la cubierta semiconductoras de la pantalla Metálica	=	0,0 mm
Diámetro exterior de la cubierta semiconductoras de la pantalla Metálica	=	37,46 mm
Espesor de la cubierta externa	=	1,90 mm
Diámetro de la cubierta externa	=	41,26 mm
Distancia entre fases (entre los ejes de los conductores)	=	41,26 mm
Máxima temperatura de operación del conductor	=	90 °C
Temperatura de emergencia del conductor	=	130 °C
Temperatura en el conductor durante el corto circuito ( $t = 1s$ )	=	250 °C
Máxima temp. de operación de la pantalla metálica	=	80 °C
Temp. en la pantalla metálica durante el corto circuito ( $t = 1s$ )	=	200 °C

Temperatura del medio ambiente	=	22,0 °C
Temperatura del suelo a nivel del cable	=	20,0 °C
Información extraída de las tablas de la Norma IEC 60287		
Resistividad eléctrica del conductor de cobre, 20°C (Ver tabla 1, en el anexo 1)	=	1.72E-04 ohm. m
Resistividad eléctrica de la pantalla de cobre, 20°C (Ver tabla 1, en el anexo 1)	=	1.72E-04 ohm. m
Coef. correc. temp. del conduc. cobre, 20°C (Ver tabla 1, en el anexo 1)	=	3,93E-03
Coef. correc. temp. de la pantalla de cobre, 20°C (Ver tabla 1, en el anexo 1)	=	3,93E-03
Resistencia del conductor cobre a 20°C en D.C. (Ver fórmula N° 30, en el anexo 9)	=	5,75E-05 ohm/ m
Efecto de proximidad: $k_p$ (Ver tabla 2, en el anexo 2)	=	0,8
Efecto skin: $k_s$ (Ver tabla 2, en el anexo 2)	=	1
Permitividad relativa de aislamiento (XLPE) - $\epsilon$ (Ver tabla 3, en el anexo 3)	=	2,5
Factor de pérdida de aislamiento (XLPE) _ $\text{tg } \delta$ (Ver tabla 3, en el anexo 3)	=	0,004
Resistividad term. de aislamiento - XLPE (Ver tabla 4, en el anexo 4)	=	3,5 K.m/ W
Resistividad térmica aislamiento PE (Ver tabla 4, en el anexo 4)	=	3,5 K.m/ W
Resistividad term. de la cubierta externa - PVC (Ver tabla 4, en el anexo 4)	=	5,0 K.m/ W
Resistividad term. de la tubería - PVC (Ver tabla 4, en el anexo 4)	=	5,0 K.m/ W
Resistividad term. Del concreto (Ver tabla 4, en el anexo 4)	=	1,00 K.m/ W
Temperatura entre el cable y la tubería	=	55 °C
Instalación del cable		
Tipo de montaje	=	Triangulo
N° de ternas	=	1 und.
N° de cables por terna	=	3 und.
Distancia entre las fases del circuito	=	41 mm
Distancia entre circuitos	=	0 mm
Distancia de la superficie del terreno hacia el eje del cable	=	875,0 mm
Diámetro interior de la tubería	=	142,4 mm
Diámetro exterior de la tubería	=	152,4 mm
Resistividad térmica del terreno	=	1,50 K.m/ W
Elaboración: Propia.		



### 3.2. DISEÑO O SIMULACION DE LA HERRAMIENTA / MODELO.

#### 3.2.1. Calculo de la intensidad máxima admisible en servicio.

Primero se realizará el cálculo de la resistencia de conductor en AC, al 90°C.

Tabla 9: Calculo de la resistencia del conductor AC a 90°C.

Resistencia del conductor en DC, 20°C	$R_0$	=	0,000057 ohm/m
Coefficiente de resistividad eléctrica a 20 °C (Ver tabla 1 en el anexo 1)	$a_{20}$	=	3,93E-03
Temperatura de operación del conductor	$q_{oper.}$	=	90 °C
Resistencia del conductor en DC, 90°C (Ver formula N° 1, en el anexo 9)	$R'$	=	7,33E-05 ohm/m
Cálculo del factor del efecto skin			
Factor $K_S$ (Tabla 2, en el anexo 2)	$K_S$	=	1,0
Resistencia del conductor en DC, 90°C	$R'$	=	7,33E-05 ohm/m
Argumento de función Bessel del efecto skin (Ver formula N° 2, en el anexo 9)	$X_S$	=	1,43
Factor del efecto skin (Ver formula N° 3, en el anexo 9)	$Y_S$	=	2,17E-02
Calculo del factor del efecto de proximidad			
Factor $K_P$ (Tabla 2, en el anexo 2)	$K_P$	=	0,8
Resistencia del conductor en DC, 90°C	$R'$	=	7,33E-05 ohm/m
Argumento de función Bessel del efecto de proximidad (Ver formula N° 2, en el anexo 9)	$X_P$	=	1,28
Diámetro externo del conductor	$d_C$	=	19,50 mm
Distancia entre fases	$s$	=	41,26 mm
Factor del efecto de proximidad (Ver formula N° 4, en el anexo 9)	$Y_P$	=	1,32E-02
Cálculo de resistencia del Conductor en A.C. y temperatura de operación			
Resistencia del conductor en AC, 90°C (Ver formula N° 5, en el anexo 9)	$R$	=	7,58E-05 ohm/m
Elaboración: Propia.			

Luego, se procederá a calcular las pérdidas dieléctricas:

Tabla 10: Cálculo de las pérdidas dieléctricas.

Diámetro externo del aislamiento, excluido semiconductor.	(Di) =	35,83 mm
diámetro conductor incluido semiconductor	(dc <sub>2</sub> ) =	19,83 mm
Frecuencia del Sistema	f =	60 Hz
Permitividad relativa del aislamiento (Ver tabla 3, en el anexo 3)	(ε) =	2,5
Factor de pérdida de aislamiento (Ver tabla 3, en el anexo 3) (a frecuencia industrial y temperatura de operación)	(tgδ) =	0,004
Tensión fase - tierra	(U <sub>o</sub> ) =	11,5 kV
Capacitancia (Ver formula N° 6, en el anexo 9)	(C) =	2,35E-10 F/m
Pérdidas dieléctricas, por longitud, por fase (Ver formula N° 7 y 8, en el anexo 9)	(W <sub>d</sub> ) =	0,0472 W/m
Elaboración: Propia.		

Ahora, se calculará el factor de pérdidas en la pantalla.

Tabla 11: Cálculo del factor de pérdidas en la pantalla.

Las pérdidas de potencia en la pantalla ( $\lambda_1$ ), son pérdidas ocasionadas por:	
$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$	
$\lambda_1'$	: Movimiento por corriente
$\lambda_1''$	: Perturbación de corriente (Corriente de foucault)
Para sistemas de puesta a tierra conectadas directamente en un solo punto,	
$\lambda' = 0$	
$\lambda_1 = \lambda_1''$	
Calculo de $\lambda''$ , con montaje en disposición triangular	
Calculo de la resistencia de la pantalla	
N° de alambres de cobre en la pantalla	(n <sub>1</sub> ) = 19 und
Diámetro de alambre de cobre en la pantalla	= 0,65 mm
Diámetro medio de la pantalla	(d) = 36,8 mm
Sección de la pantalla (Ver formula N° 9, en el anexo 9)	= 6,305 mm <sup>2</sup>
Diámetro exterior: pantalla + cinta aisladora	(D <sub>s</sub> ) = 37,5 mm
Distancia entre fases	(S) = 41 mm
Máxima temperatura de operación en la pantalla (La pantalla trabaja a 10°C por debajo de la temperatura del conductor)	= 80 °C
Resistividad eléctrica de la pantalla, 20°C ( $\rho_s$ )	= 1,72E-08 ohm-m
Resistividad eléctrica de la pantalla, 20°C ( $\rho_s$ )	= 0,017241 ohm-mm / km

Resistencia de la pantalla a 20°C (Ver formula N° 10, en el anexo 9)	$(R_0) =$	2,79E-03 ohm / km
Coefficiente de corrección de temperatura en pantalla cobre, 20°C	$\alpha_{20} =$	3,93E-03
Resistencia de la pantalla a 80°C (Ver formula N° 11, en el anexo 9)	$(R_s) =$	3,45E-03 ohm / m
Resistencia del conductor en AC, 90°C	$(R) =$	7,58E-05 ohm / m
Factor (m), para el caso que $m \leq 0.1$ ; $\Delta 1$ y $\Delta 2$ son insignificantes (Ver formula N° 12, en el anexo 9)		= 0,011
Factor $\lambda_0$ (cable central) (Ver formula N° 13, en el anexo 9)		= 1,43E-04
Factor $\lambda_0$ (cable en adelanto) (Ver formula N° 14, en el anexo 9)		= 3,57E-05
Factor $\lambda_0$ (cable en atraso) (Ver formula N° 14, en el anexo 9)		= 3,57E-05
Factor $\beta_1$ (Ver formula N° 15, en el anexo 9)		= 1,66E+02
Factor $g_s$ (Ver formula N° 16, en el anexo 9)		= 1,004
Factor de pérdidas por corrientes foucault - cable central (Ver formula N° 17, en el anexo 9)		= 7,03E-03
Factor de pérdidas por corrientes foucault - cable en adelanto (Ver formula N° 17, en el anexo 9)		2,14E-03
Factor de pérdidas por corrientes foucault - cable en atraso (Ver formula N° 17, en el anexo 9)		= 2,14E-03
Factor de pérdidas causadas por corrientes foucault (Ver formula N° 18, en el anexo 9)	$\lambda 1'' =$	3,77E-03
Factor de pérdidas en la pantalla	$\lambda 1 =$	3,77E-03
Elaboración: Propia.		

El ultimo parámetro que se requiere para el cálculo de la capacidad de corriente del conductor, es hallar la resistencia térmica.

Tabla 12: Cálculo de la resistencia térmica.

Resistencias térmica - Entre el conductor y envoltura interna ( $T_1$ )		
Resistencia térmica del aislamiento PE (Ver tabla 4, anexo 4)	$(\rho T) =$	3,5 K.m / W
Diámetro externo del conductor	$(dC) =$	19,50 mm
Distancia de aislamiento entre el conductor y la pantalla	$(t1) =$	0,17 mm
Resistencia térmica - Entre el conductor y la pantalla (Ver formula N° 19, en el anexo 9)	$(T1) =$	0,0093 Km/W
Resistencias térmica - Entre envoltura interna y la pantalla ( $T_2$ )		
Resistencia térmica del aislamiento XLPE (Ver tabla 4, en el anexo 4)	$(\rho T) =$	3,5 K.m / W

Resistencia térmica del aislamiento PE (Ver tabla 4, en el anexo 4)	( $\rho T$ ) =	3,5 K.m / W
Distancia de aislamiento XLPE	(t2a) =	8,00 mm
Distancia de aislamiento PE	(t2b) =	0,17 mm
Diámetro externo sobre la pantalla semiconductora	=	19,83 mm
Diámetro externo sobre el aislamiento	(dC) =	35,83 mm
Resistencia térmica - Entre el conductor y la pantalla (Ver formula N° 19, en el anexo 9)	(T2) =	0,3346 Km/W
Resistencia térmica de la cubierta externa ( $T_3$ )		
Resistencia térmica del aislamiento PVC (Ver tabla 4 en el anexo 4)	( $\rho T$ ) =	5 Km / W
Diámetro exterior de la pantalla	(d'a) =	37,5 mm
Espesor de la cubierta sobre la pantalla	(t3) =	1,90 mm
Resistencia térmica de la cubierta externa (Ver formula N° 19, en el anexo 9)	(T3) =	0,0769 Km/W
Resistencias térmica - Entre el cable y la tubería ( $T'_4$ )		
Constante U, en función a la instalación (Ver tabla 5, anexo 5)	(U) =	5,20
Constante V, en función a la instalación (Ver tabla 5, anexo 5)	(V) =	0,91
Constante Y, en función a la instalación (Ver tabla 5, anexo 5)	(Y) =	0,01
Diámetro externo del cable	(De) =	41,26 mm
Temperatura entre el cable y la tubería	=	55 °C
Resistencia térmica entre el cable y la tubería (Ver formula N° 20, en el anexo 9)	(T'4) =	0,7403 Km/W
Resistencia térmica de la tubería ( $T''_4$ )		
Resistencia térmica de la tubería PVC (Ver tabla 4 en el anexo 4)	( $\rho T$ ) =	5,0 Km / W
Diámetro exterior de la tubería	(Do) =	152,4 mm
Diámetro interior de la tubería	(Dd) =	142,4 mm
Resistencia térmica entre el cable y la tubería (Ver formula N° 21, en el anexo 9)	(T''4) =	0,0540 Km/W
Resistencias externas de la tubería ( $T'''_4$ )		
Resistividad térmica del concreto	( $\rho_e$ ) =	1,00 Km / W
Distancia de la superficie del terreno hacia el eje del cable	L =	875,0
Diámetro exterior de la tubería	(Do) =	152,4 mm
Coeficiente (Ver formula N° 22, en el	(u') =	11,48

anexo 9)			
Factor de reflexión (Ver fórmula 23, en el anexo 9 y tabla 7, en el anexo 7)	F	=	2388,07
Resistencia térmica preliminar (Ver fórmula 24, en el anexo 9)			1,3694
Número de conductores en el ducto		=	3
Resistividad térmica del concreto (Ver tabla 4 en el anexo 4)	( $\rho_c$ )	=	1,00 Km / W
Resistividad térmica del terreno	( $\rho_e$ )	=	1,50 Km / W
Profundidad del centro del banco de ductos	(LG)	=	975 mm
Dimensión Y, lado largo del banco de ducto	(Y)	=	650 mm
Dimensión X, lado corto del banco de ducto	(X)	=	500 mm
Radio equivalente del banco de concreto (Ver fórmula 25, en el anexo 9)	( $r_b$ )	=	302,86 mm
Coefficiente (Ver fórmula 26, en el anexo 9)	(u)	=	3,22
Resistencia térmica externa al ducto (Ver fórmula 27, en el anexo 9)	( $T'''4$ )	=	0,4386 Km/W
Resistencia térmica externa al ducto (Ver fórmula 28, en el anexo 9)	( $T'''4$ )	=	1,8080 Km/W
Resistencia térmica total (Ver fórmula 29, en el anexo 9)	(T4)	=	2,6024 Km/W
Elaboración: Propia.			

Finalmente, se realiza un resumen de los cálculos, dando como resultado, la corriente admisible del conductor

Tabla 13: Corriente admisible en el conductor.

Resistencia térmica entre el conductor y envoltura interna	(T1)	=	0,0093 Km/W
Resistencia térmica entre la envoltura interna y pantalla	(T2)	=	0,3346 Km/W
Resistencia térmica de la cubierta externa	(T3)	=	0,0769 Km/W
Resistencia térmica externa	(T4)	=	2,6024 Km/W
Temperatura a nivel del suelo		=	293,15 °K
Temperatura máxima de operación del conductor		=	363,15 °K
Incremento de la temperatura de operación del conductor en relación con la temperatura ambiente del cable	( $\Delta\theta$ )	=	70,0 °K

Perdidas dieléctricas	(Wd) =	0,0472 W/m
Número de conductores en el cable	(n) =	1 und.
Resistencia del conductor en C.A. y temperatura max. operac.	(R) =	7,58E-05 ohm/m
Factor de pérdidas en la pantalla	(λ1) =	3,77E-03
Factor de pérdidas en la armadura	(λ2) =	0,0
Corriente admisible en el conductor (Ver formula N° 31, en el anexo 9)	=	550,97 A
Potencia transportada	=	19,95 MVA
Elaboración: Propia.		

### 3.2.2. Cálculo de corriente de corto circuito.

Para realizar el cálculo de corto circuito, se deben tener los datos indicados en la tabla 14.

Tabla 14: Datos para cálculo de corriente de cortocircuito.

Corriente permisible en el corto circuito (kA)	:	11,5 kA
Sección transversal del conductor (mm <sup>2</sup> )	:	300 mm <sup>2</sup>
Duración del corto circuito (s)	:	0.2 segundos
Temp. Final (para XLPE, Standard ICEA)	:	250 °C
Temp. Inicial (Standard ICEA)	:	90 °C
Elaboración: Propia.		

Se realizara una tabulación de la corriente de corto circuito admisibles al cable de acuerdo a la fórmula de la norma IEC 60949 (Ver formula N°32, en el anexo 9), teniendo en cuenta los diversos tiempos de duración del corto circuito, y además considerando que la sección del cable es de 300 mm<sup>2</sup>, se obtiene la capacidad de corriente de cortocircuito (ver tabla 15).

Tabla 15: Corriente de corto circuito admisible para conductor de 300mm<sup>2</sup>.

Sección transversal mm <sup>2</sup>	Corriente de corto circuito admisible		
	t (s)		
	0,2	0,5	1
300	95,84	60,62	42,86
Elaboración: propia.			

Por último, el cable unipolar 300 mm<sup>2</sup>, conductor de cobre, es adecuado para soportar la capacidad de corriente de cortocircuito.

### 3.2.3. Cálculo de la caída de tensión

Se procederá a hallar la caída de tensión por cada subestación, para posteriormente tener el resultado de todo el sistema.

Para la subestación SE-01 (Ver fórmula N°33, del anexo 9)

Tabla 16: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-01.

Potencia a transportar	=	15,0 MVA
Potencia a transportar	=	12,0 MW
Longitud total del cable	=	550 [m]
Numero de ternas.	=	1
Nivel de tensión del sistema	=	20,00 kV
Elaboración: Propia.		

Tabla 17: Cálculos de la caída de tensión para la SE-01.

Sección (mm <sup>2</sup> )	R <sub>AC</sub> (Ω/km)	X <sub>L</sub> (Ω/km)	V <sub>CT</sub> (V)
300	0,0797	0,124	56,99
Elaboración: Propia.			

Para la subestación SE-03 (Ver fórmula N°33, del anexo 9)

Tabla 18: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-03

Potencia a transportar	=	12,5 MVA
Potencia a transportar	=	10,0 MW
Longitud total del cable	=	460 [m]
Numero de ternas.	=	1
Nivel de tensión del sistema	=	20,00 kV
Elaboración: Propia.		

Tabla 19: Datos de parámetros del conductor para SE-03.

Sección (mm <sup>2</sup> )	R <sub>AC</sub> (Ω/km)	X <sub>L</sub> (Ω/km)	V <sub>CT</sub> (V)
300	0,0797	0,124	39,72
Elaboración: Propia.			

Para la subestación SE-05 (Ver formula N°33, del anexo 9)

Tabla 20: Datos para el cálculo de la caída de tensión para S.E-05

Potencia a transportar	=	10,0 MVA
Potencia a transportar	=	8,0 MW
Longitud total del cable	=	720 [m]
Numero de ternas.	=	1
Nivel de tensión del sistema	=	20,00 kV
Elaboración: Propia.		

Tabla 21: Datos de parámetros del conductor para SE-05.

Sección (mm <sup>2</sup> )	R <sub>AC</sub> (Ω/km)	X <sub>L</sub> (Ω/km)	V <sub>CT</sub> (V)
300	0,0797	0,124	49,74
Elaboración: Propia.			

Para la subestación SE-07 (Ver formula N°33, del anexo 9)

Tabla 22: Datos para el cálculo de la caída de tensión para S.E-07

Potencia a transportar	=	7,5 MVA
Potencia a transportar	=	6,0 MW
Longitud total del cable	=	760 [m]
Numero de ternas.	=	1
Nivel de tensión del sistema	=	20,00 kV
Elaboración: Propia.		



Tabla 23: Datos de parámetros del conductor para SE-07.

Sección (mm <sup>2</sup> )	R <sub>AC</sub> (Ω/km)	X <sub>L</sub> (Ω/km)	V <sub>CT</sub> (V)
300	0,0797	0,124	39,38
Elaboración: Propia.			

Para la subestación SE-09 (Ver formula N°33, del anexo 9)

Tabla 24: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-09

Potencia a transportar	=	5,0 MVA
Potencia a transportar	=	4,0 MW
Longitud total del cable	=	550 [m]
Numero de ternas.	=	1
Nivel de tensión del sistema	=	20,00 kV
Elaboración: Propia.		

Tabla 25: Datos de parámetros del conductor para SE-09.

Sección (mm <sup>2</sup> )	R <sub>AC</sub> (Ω/km)	X <sub>L</sub> (Ω/km)	V <sub>CT</sub> (V)
300	0,0797	0,124	19,00
Elaboración: Propia.			

Para la subestación SE-11 (Ver formula N°33, del anexo 9)

Tabla 26: Datos para el cálculo de la caída de tensión para SE-11

Potencia a transportar	=	5,0 MVA
Potencia a transportar	=	4,0 MW
Longitud total del cable	=	550 [m]
Numero de ternas.	=	1
Nivel de tensión del sistema	=	20,00 kV
Elaboración: Propia.		

Tabla 27: Datos de parámetros del conductor para SE-11.

Sección (mm <sup>2</sup> )	R <sub>AC</sub> (Ω/km)	X <sub>L</sub> (Ω/km)	V <sub>CT</sub> (V)
300	0,0797	0,124	19,00
Elaboración: Propia.			

Finalmente, el porcentaje de caída de tensión del sistema es (Ver formula N°34, del anexo 9)

Tabla 28: Porcentaje de caída de tensión del anillo 1 y 4.

$V_{CT}$ (V)	$\Delta V\%$
223,82	1,12
Elaboración: Propia.	

Este valor está por debajo del 3%, que estable LAP como parámetro de caída de tensión.

Realizando el mismo procedimiento, se calculará el anillo 2 y 5, el área de servicios, anillo 3 y la torre de control. El resumen de los resultados, están indicados en el siguiente capítulo.

### **3.3. REVISION Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS.**

El consolidado de resultados de los cálculos realizados para todos los anillos y subestaciones del proyecto "Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez" se muestran en las tablas 29 y 30; en donde se demuestran que los cables seleccionados (alimentadores) para las subestaciones cumplen los criterios de capacidad admisible, corriente de cortocircuito y caída de tensión.

Cabe indicar, que se hizo uso de un herramienta informática on-line (software) de la empresa General Cable, con el objetivo de validar nuestros resultados (Ver anexo 10). Podemos señalar, que las capacidades admisibles del conductor, son mayores a los resultados obtenidos en esta tesina. Asimismo, podemos indicar que las caídas de tensión y corriente de cortocircuito son casi iguales a los realizados por LAP y la presente tesina.

Finalmente, al verificar las secciones de los cables, todas los anillos y subestaciones coinciden con las mismas secciones, sin embargo, el anillo 1 y 4, el dimensionamiento del cable, no es el adecuado para el proyecto, LAP a dimensionado el cable con 240mm<sup>2</sup>, pero con los cálculos realizados en la tesina y validados por el software de General Cable, podemos darnos cuenta que debe de ser 300mm<sup>2</sup> (Ver tabla 29).

Tabla 29: Tabla de resultados I

Cálculos \ Subestaciones /Elaboración	Anillo 1 y 4 (SE-01, SE-03, SE-05, SE-07, SE-09 Y SE-11)			Anillo 2 y 5 (SE-02, SE-04, SE-06, SE-08 Y SE-10)			Anillo 3 (SE-51, SE-52, SE-53 y SE-54)			Chiller (SE-20)		
	LAP	Tesina	Software	LAP	Tesina	Software	LAP	Tesina	Software	LAP	Tesina	Software
Capacidad admisible del conductor (A)	626.48	550.97	-	626.48	490.93	-	251.70	210.29	-	258.22	210.29	-
Corriente de corto circuito (kA)	76.21	95.84	-	76.21	76.67	-	15.88	15.97	-	15.88	15.97	-
Caída de tensión (%)	1.19	1.12	-	1.02	1.01	-	0.74	0.73	-	0.27	0.27	-
Corriente de diseño (A)	541			451			32			198		
Sección del cable (mm <sup>2</sup> )	240	300	300	240	240	240	50	50	50	50	50	50

Tabla 30: Tabla de resultados II

Cálculos \ Subestaciones /Elaboración	Bloque Sanitario (SE-22)			Parking (SE-21)			Data center (SE-23 Y SE-24)			Torre de control (SE-41)		
	LAP	Tesina	Software	LAP	Tesina	Software	LAP	Tesina	Software	LAP	Tesina	Software
Capacidad admisible del conductor (A)	258.22	210.29	-	258.22	210.29	-	258.22	210.29	-	258.22	210.29	-
Corriente de corto circuito (kA)	15.88	15.97	-	15.88	15.97	-	15.88	15.97	-	15.88	15.97	-
Caída de tensión (%)	0.02	0.02	-	0.01	0.01	-	0.07	0.07	-	0.24	0.24	-
Corriente de diseño (A)	54			18			18			29		
Sección del cable (mm <sup>2</sup> )	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

## CONCLUSIONES

- Los conductores dimensionados para el proyecto "Diseño del área terminal 2 y nueva pista del aeropuerto internacional Jorge Chávez son del tipo N2XSY y sus secciones son los siguientes:
  - Anillo 1 y 4: 300mm<sup>2</sup>.
  - Anillo 2 y 5: 240mm<sup>2</sup>.
  - Anillo 3: 50mm<sup>2</sup>.
  - S.E. Chiller: 50mm<sup>2</sup>.
  - S.E. Bloque sanitario: 50mm<sup>2</sup>.
  - S.E. Parking: 50mm<sup>2</sup>.
  - S.E. Data center: 50mm<sup>2</sup>.
  - S.E. Torre de control: 50mm<sup>2</sup>
  
- Los criterios para la selección de los cables en MT comprende de 3 cálculos generales: Capacidad de admisible en el conductor, corriente de corto circuito y caída de tensión.
  
- Los procedimientos consisten en hallar los valores de:
  - Capacidad admisible: la resistencia térmica, resistencia del conductor en AC, pérdidas dieléctricas y factores de pérdidas de la pantalla.
  - Corriente de cortocircuito: Temperatura inicial y final, tiempo de duración de cortocircuito, sección del cable.
  - Caída de tensión. Longitud total del cable, resistencia, reactancia del cable, el ángulo de desfase, numero de ternas y potencia.

## RECOMENDACIONES

- Para determinar la sección de un cable para un proyecto específico, no es suficiente con verificar el catálogo del fabricante, y que la corriente admisible del cable cumpla con la corriente de diseño del proyecto, sino que se tiene que verificar las condiciones de fabricación y realizar reajustes a la capacidad del conductor (si es necesario), para que cumpla con lo requerido específicamente para el proyecto.
- Para realizar el cálculo del dimensionamiento de los alimentadores, se requiere recaudar información precisa del proyecto y del tipo de cable el cual se va a utilizar, estos datos deben estar bien definidos por el proyectista, para posteriormente obtener parámetros generales bajo el uso de norma o estándares.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, C. (2012). Selección de cable de potencia para el diseño de líneas de transmisión subterráneas y entradas a subestaciones de 230kV conforme IEC 60287. (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Ministerio de Energía y minas. (2006). Código Nacional de Electricidad. Lima

Centelsa. (Abril de 2008). *Cables & Tecnología*. Obtenido de Centelsa:  
<http://www.centelsa.com.co/archivos/8e6cebf3.pdf>

ENERSIS. (21 de septiembre de 2009). *Ingeniería Eléctrica Explicada*.  
Obtenido de:  
<http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.pe/2009/09/conceptos-sobre-celdas-de-mt.html>

ECURED. Efecto Pelicular. (s.f). Obtenido de:  
[https://www.ecured.cu/Archivo:Efecto\\_pelicular.JPG](https://www.ecured.cu/Archivo:Efecto_pelicular.JPG)

Montecelos, J. T. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Madrid: Paraninfo.

Diario El Comercio. (10 de 05 de 2016). *www.elcomercio.pe*. Recuperado el 10 de 08 de 2016, de <http://elcomercio.pe/sociedad/lima/aeropuerto-jorge-chavez-cancelan-vuelos-averia-avion-noticia-1900205>

Donald G, W. H. (1981). *Manual Practico de electricidad para ingenieros*. Barcelona: Reverte.

German Santamaria, A. (2009). *Electrotecnia*. Madrid, España: Editex.

LAP. (2015). *www.lima-airport.com*. Recuperado el 10 de 08 de 2016, de [https://www.lima-airport.com/esp/Documents/Memoria\\_Anual\\_2015\\_B.pdf](https://www.lima-airport.com/esp/Documents/Memoria_Anual_2015_B.pdf)

UNAM. (s.f.). *www.ptolomeo.unam*. Recuperado el 8 de setiembre de 2016, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/659/A6.pdf?sequence=6>

Estandar IEC 60287, 2004

Estandar IEC 60228, 2004

## **ANEXOS**



## ANEXO 1

**Tabla 1**

**La resistividad eléctrica y el coeficiente de variación de la resistividad con la temperatura del metal utilizado**

Material	Resistividad ( $\rho$ ) Ohm*m a 20°C	Coeficiente de Temperatura ( $\alpha_{20}$ ) para k a 20°C
a) Almas		
Cobre	1.7241 10 <sup>-8</sup>	3,93 10 <sup>-3</sup>
Aluminio	2.8264 10 <sup>-8</sup>	4,03 10 <sup>-3</sup>
b) Materiales de conductos y armaduras		
Plomo y aleación de plomo	21,4 10 <sup>-8</sup>	4,0 10 <sup>-3</sup>
Acero	13,8 10 <sup>-8</sup>	4,5 10 <sup>-3</sup>
Bronce	3,5 10 <sup>-8</sup>	3,0 10 <sup>-3</sup>
Acero Inoxidable	70 10 <sup>-8</sup>	despreciable
Aluminio	2,84 10 <sup>-8</sup>	4,03 10 <sup>-3</sup>
NOTA: Valores para los conductores de cobre se toman de IEC 28 Valores para los conductores de aluminio se toman de IEC 889		
FUENTE: IEC 60287-1-1		

## ANEXO 2

**Tabla 2**  
**Efectos pelicular y de proximidad.**  
**Los valores experimentales de los coeficientes  $K_s$  y  $K_p$**

(los valores correspondientes para los conductores de aluminio están bajo consideración)

Tipo de alma	Secos e impregnados	$K_s$	$K_p$
Cable redondo trenzado	SI	1	0,8
Cable redondo trenzado	NO	1	1
Cable redondo compacto	SI	1	0,8
Cable redondo compacto*	NO	1	1
Cable redondo segmentario Hueco, cable, helicoidal	SI	0,435 **	0,37 0,8
Sectorial	SI	1	0,8
Sectorial	NO	1	1

\* los valores dados se aplican a los conductores que tiene cuatro segmentos (con o sin conducto central) y áreas de sección hasta 1 500 mm<sup>2</sup>. Estos valores son provisionales y está sujeto bajo su consideración.

\*\* la siguiente fórmula se debe utilizar para  $K_s$ :

$$K_s = \frac{d' c - d_i}{d' c + d_i} \left( \frac{d' c + 2 d_i}{d' c + d_i} \right)^2$$

Donde:  
 $d_i$  es el diámetro interior del conductor (conducto central) (mm).  
 $d'_c$  es el diámetro exterior del conductor sólido equivalente con el mismo conducto central (mm)

NOTA:  
Aunque no existen resultados experimentales aceptados que tratan específicamente de conductores trenzados de aluminio en la actualidad, se recomienda a los usuarios aplicar los mismos métodos y coeficientes de conductores de aluminio trenzados con la cadena de diseño concéntrico como ya se dan para conductores de cobre trenzados similares. El error será en el lado seguro.

FUENTE: IEC 60287-1-1

### ANEXO 3

**Tabla 3**  
**Valores de los factores de permitividad y la pérdida relativa para el aislamiento de los cables de alta tensión y media tensión a frecuencia industrial.**

1	2	3																						
Tipo de cable	$\epsilon$	$\tan \delta^*$																						
Los cables aislados con papel empapado tipo sólido, impregnado totalmente, pre - impregnados o masa impregnado no drenado	4	0,01																						
llena de aceite, autónomo <sup>1)</sup> hasta $U_0 = 36$ kV	3,6	0,0035																						
hasta $U_0 = 87$ kV	3,6	0,0033																						
hasta $U_0 = 160$ kV	3,6	0,0030																						
hasta $U_0 = 220$ kV	3,6	0,0028																						
Presión de aceite, tipo tubo <sup>2)</sup>	3,7	0,0045																						
Presión externa del gas <sup>3)</sup>	3,6	0,0040																						
Presión interna del gas <sup>4)</sup>	3,4	0,0045																						
cables con otros tipos de aislamiento <sup>5)</sup>																								
Caucho butílico	4	0,050																						
EPR																								
Hasta e incluso cables 18/30 (36) kV	3	0,020																						
Mayor que cable 18/30 (36) kV	3	0,005																						
PVC	8	0,1																						
PE (HD and LD)	2,3	0,001																						
XLPE																								
Hasta e incluso cables 18/30 (36) kV (sin llenar)	2,5	0,004																						
Mayor que cable 18/30 (36) kV (sin llenar)	2,5	0,001																						
Mayor que cable 18/30 (36) kV (lleno)	3,0	0,005																						
<p>* Los valores de seguridad en temperatura máxima admisible, aplicable a las más altas tensiones normalmente se especifican para cada tipo de cable.</p> <p><sup>1)</sup> Ver IEC 141-1</p> <p><sup>2)</sup> Ver IEC 141-4</p> <p><sup>3)</sup> Ver IEC 141-3</p> <p><sup>4)</sup> Ver IEC 141-2</p> <p><sup>5)</sup> Ver IEC 502</p> <p>Nota: la pérdida dieléctrica debe tenerse en cuenta para valores de <math>U_0</math> iguales o superiores a las siguientes.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;">Tipo de cable</th> <th style="width: 30%;"><math>U_0</math> kV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cables aislados con papel empapado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>  Tipo sólido</td> <td style="text-align: center;">38</td> </tr> <tr> <td>  lleno de aceite y gas a la presión</td> <td style="text-align: center;">63,5</td> </tr> <tr> <td>cables con otros tipos de aislamiento</td> <td></td> </tr> <tr> <td>  caucho butílico</td> <td style="text-align: center;">18</td> </tr> <tr> <td>  EPR</td> <td style="text-align: center;">63,5</td> </tr> <tr> <td>  PVC</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> <tr> <td>  PE (HD y LD)</td> <td style="text-align: center;">127</td> </tr> <tr> <td>  XLPE (sin llenar)</td> <td style="text-align: center;">127</td> </tr> <tr> <td>  XLPE (lleno)</td> <td style="text-align: center;">63,5</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de cable	$U_0$ kV	cables aislados con papel empapado		Tipo sólido	38	lleno de aceite y gas a la presión	63,5	cables con otros tipos de aislamiento		caucho butílico	18	EPR	63,5	PVC	6	PE (HD y LD)	127	XLPE (sin llenar)	127	XLPE (lleno)	63,5
Tipo de cable	$U_0$ kV																							
cables aislados con papel empapado																								
Tipo sólido	38																							
lleno de aceite y gas a la presión	63,5																							
cables con otros tipos de aislamiento																								
caucho butílico	18																							
EPR	63,5																							
PVC	6																							
PE (HD y LD)	127																							
XLPE (sin llenar)	127																							
XLPE (lleno)	63,5																							
FUENTE: IEC 60287-1-1																								

## ANEXO 4

Tabla 4

### Resistividades térmicas de los materiales.

Material	Resistividad Térmica ( $\rho_T$ ) K.m/W
<b>Materiales aislantes*</b>	
Aislamiento de papel en cables tipo sólido.	6,0
Aislamiento de papel en cables con aceite	5,0
Aislamiento de papel en cables con presión de gas externa.	5,5
Aislamiento de papel en cables con presión de gas interna:	
a) Pre-impregnado.	5,5
b) Masa-impregnada.	6,0
PE	3,5
XLPE	3,5
Cloruro de polivinilo:	
Hasta e incluso cables de 3 kV	5,0
Mayor que cables de 3 kV	6,0
EPR	
Hasta e incluso cables de 3 kV	3,5
Mayor que cables de 3 kV	5,0
Caucho butílico	5,0
Caucho	5,0
<b>Cubiertas protectoras:</b>	
Yute agravado y materiales fibrosas	6,0
Protección de capa de goma	6,0
Poli cloropreno	5,5
PVC:	
Hasta e incluso cables de 35 kV	5,0
Mayor que cables de 35 kV	6,0
PVC / bitumen en vainas de aluminio corrugado	6,0
PE	3,5
<b>Materiales para instalaciones en ductos</b>	
Concreto	1,0
Fibra	4,8
Asbestos	2,0
Loza de barro	1,2
PVC	6,0
PE	3,5
* A efectos de los cálculos actuales de calificación, los materiales de detección semiconductores se supone que tienen las mismas propiedades térmicas como los materiales dieléctricos adyacentes.	
Donde los plásticos o materiales elastómeros se utilizan para revestimientos protectores. las resistividades térmicas tendrán que ser iguales a los de los grados de aislamiento de los materiales que figuran en esta tabla	
Fuente: IEC 60287-1-3	

## ANEXO 5

**Tabla 5 – Valores para las constantes  $U$ ,  $V$  e  $Y$**

Condiciones de instalación	$U$	$V$	$Y$
En ducto metálico	5,2	1,4	0,011
En ducto de fibra al aire	5,2	0,83	0,006
En ducto de fibra en concreto	5,2	0,91	0,010
En cementos de asbesto:			
Ducto en aire	5,2	1,2	0,006
Ducto en concreto	5,2	1,1	0,011
Cable de presión de gas en la tubería	0,95	0,46	0,0021
Cable tipo tubería de presión de aceite.	0,26	0,0	0,0026
Ductos de plástico	Consideración baja		
Ducto de barro	1,87	0,28	0,0036
Fuente: IEC 60287-1-3			

## ANEXO 6

Tabla 6 – Resistividades térmicas según el tipo de suelo

<b>Resistividad térmica (K*m/W)</b>	<b>Estado del suelo</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>
0,70	Muy húmedo	Muy lluvioso
1,00	Húmedo	Lluvia frecuente
2,00	Seco	Lluvia escasa
3,00	Muy seco	Muy poca lluvia
Fuente: IEC 60287		

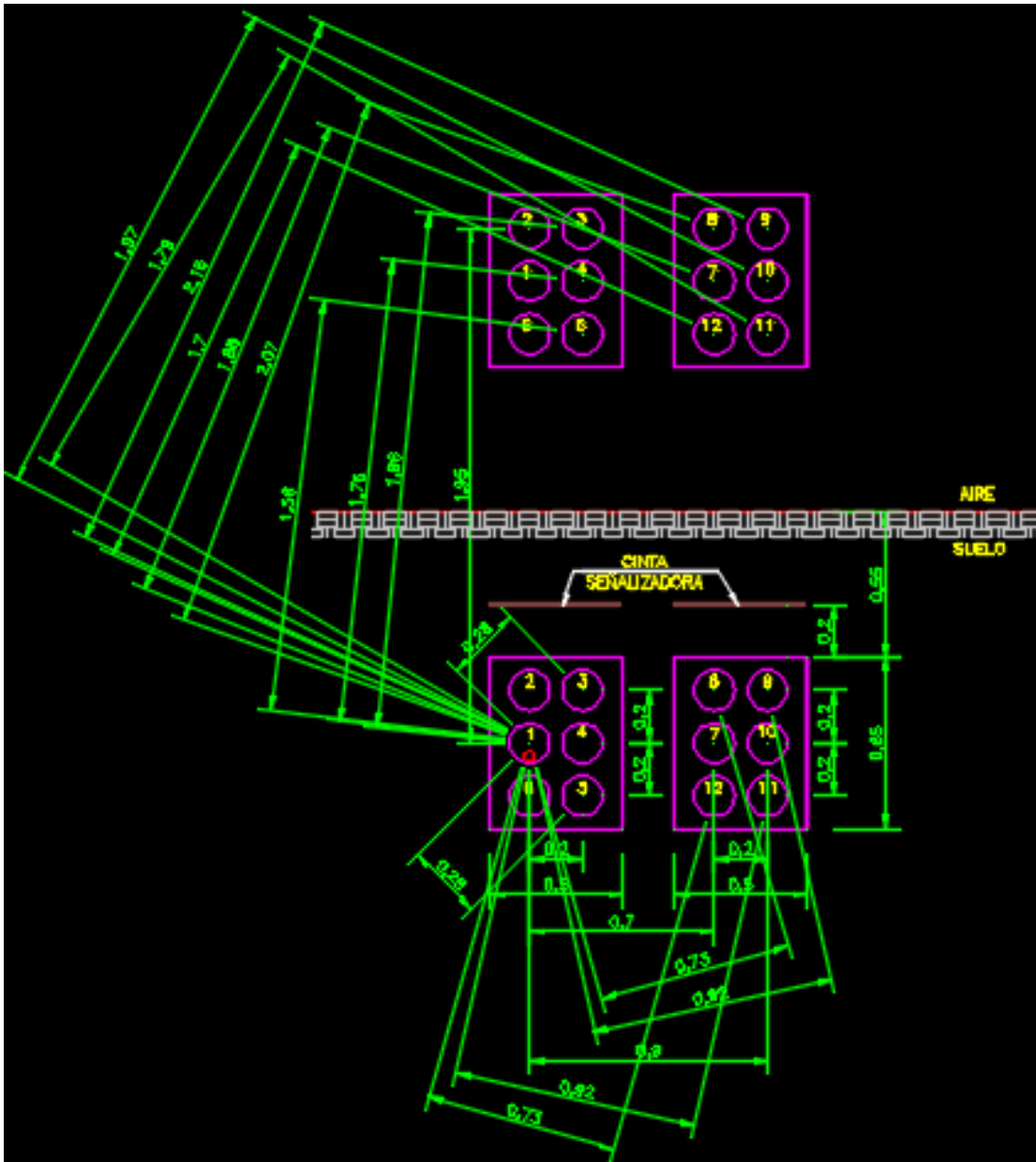
## ANEXO 7

Tabla 7 – Distancias para el factor de reflexión

Distancia	mm
Dist (1-2)	20
Dist (1-2')	195
Dist (1-3)	28
Dist (1-3')	196
Dist (1-4)	20
Dist (1-4')	176
Dist (1-5)	28
Dist (1-5')	156
Dist (1-6)	20
Dist (1-6')	155
Dist (1-7)	70
Dist (1-7')	188
Dist (1-8)	73
Dist (1-8')	207
Dist (1-9)	92
Dist (1-9')	215
Dist (1-10)	90
Dist (1-10')	197
Dist (1-11)	92
Dist (1-11')	179
Dist (1-12)	170
Dist (1-12')	73

ANEXO 8

Diagrama de distancias para el cálculo de  $T''_4$





## ANEXO 9

### Formulas

$$1. R' = R_0[1 + \alpha_{20^\circ\text{C}}(\theta - 20)]$$

$$2. X_S^2 = \frac{8\pi f}{R'}(10^{-7})K_S$$

$$3. Y_S = \frac{X_S^4}{192+0.8(X_S^4)}$$

$$4. Y_P = \frac{X_P^4}{192+0.8(X_P^4)} \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 \left[ 0.312 \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 + 1.18 / \frac{X_P^4}{192+0.8(X_P^4)} + 0.27 \right]$$

$$5. R = R'(1 + Y_S + Y_P)$$

$$6. C = \frac{\varepsilon}{18 \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right)} 10^{-9}$$

$$7. W_d = \omega C (U_0^2) (\tan \delta)$$

$$8. \omega = 2\pi f$$

$$9. S = \#Cables * (\pi * d^2)/4$$

$$10. R_o = \rho * \frac{1.02}{n1 * \pi * \frac{d^2}{4}}$$

$$11. R_S = R_0[1 + \alpha_{20^\circ\text{C}}(\theta - 20)]$$

$$12. m = \frac{2\pi f}{R_S} * 10^{-7}$$

$$13. \lambda_0 = 6 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2S} \right)^2$$

$$14. \lambda_0 = 1,5 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2S} \right)^2$$

$$15. \beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi\omega}{10^7 \rho_S}}$$

$$16. g_S = 1 + \left( \frac{t_S}{D_S} \right)^{1.74} (\beta_1 * D_S * 10^{-3} - 1.6)$$

$$17. \lambda_1'' = \frac{R_S}{R} * \left[ g_S \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1 t_S)^4}{12 * 10^{12}} \right]$$

$$18. \lambda_1'' = \frac{(\lambda_1'' + \lambda_1'' + \lambda_1'')}{3}$$

$$19. T_1 = \frac{1}{2\pi} * \rho_t * \ln \left[ 1 + \frac{2t_1}{D_C} \right]$$

$$20. T'_4 = \frac{U}{1+0.1*(V+Y\theta_m)*D_e}$$

$$21. T''_4 = \frac{1}{2\pi} * \rho_t * \ln \left[ \frac{D_o}{D_d} \right]$$

$$22. u' = 2 * (L/D_o)$$

$$23. F = \left( \frac{d'_{P1}}{d_{P1}} \right) * \left( \frac{d'_{P2}}{d_{P2}} \right) \dots * \left( \frac{d'_{PK}}{d_{PK}} \right) \dots \left( \frac{d'_{PQ}}{d_{PQ}} \right)$$

$$24. T_4 = \frac{1}{2\pi} * \rho_t * \left[ \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) * \left( \left( \frac{d'_{p1}}{d_{p1}} \right) * \left( \frac{d'_{p2}}{d_{p2}} \right) \dots * \left( \frac{d'_{pk}}{d_{pk}} \right) \dots \left( \frac{d'_{pq}}{d_{pq}} \right) \right) \right]$$

$$25. \ln r_b = \left( \frac{x}{2y} \right) \left( \frac{4}{\pi} - \frac{x}{y} \right) \ln \left( 1 + \frac{y^2}{x^2} \right) + \ln \left( \frac{x}{2} \right)$$

$$26. u = L_G / r_b$$

$$27. T'''_4 = \frac{N}{2\pi} * (\rho_e - \rho_c) * \ln(u + \sqrt{u^2 - 1})$$

$$28. T_4 = T'_4 + T''_4 + T'''_4$$

29. Resistencia térmica externa al ducto = Resistencia térmica preliminar +  
resistencia térmica externa al ducto

30. Resistencia del conductor de cobre 20°C en DC = Resistividad ( $\rho$ ) / área

$$31. I = \left[ \frac{\Delta\theta - W_d [0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{1/2}$$

$$32. I = \frac{225.67S}{\sqrt{t}} \sqrt{\ln \left( \frac{234.5 + T_2}{234.5 + T_1} \right)}$$

$$33. V_{CT} = \frac{P * L * (R_A + Xtg\phi)}{N * V}$$

$$34. V_{(\%)} = \frac{V_{CT} * 100}{V}$$

## ANEXO 10

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION/SE-41/TORRE DE CONTROL

### Datos Eléctricos

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema U: 20 KV

Intensidad en Amperios: 29 A

N° de cables por fase: 1

Intensidad (A): 11.5 Duración (s): 0.2

### Datos de cable

**Datos de cable**

Conductor:  Cobre  Aluminio  No definido

Aislamiento:  Poliéster reticulado (XLPE)

Construcción:  Unipolar  Tripolar

Armadura:  SI  No

### Datos de Instalación

**Instalación**

Temperatura del terreno: 30 °C

Resistividad térmica del suelo: 1.5 Km/W

Profundidad de tendido: 1.00 m

N° de circuitos adicionales: 0

Distancia entre conductores: En contacto mm

### Cálculo de sección

**Cálculo de sección**

Sección recomendada por calentamiento: 46 mm<sup>2</sup>

La sección recomendada es de: 50 mm<sup>2</sup>

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION/ANILLO 2 Y ANILLO 5

## Datos Eléctricos

**General Cable**

Quérens eventos Mercados Productos y soluciones Centro de información Trabaja con nosotros Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPR

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos 02 Tipo de cable 03 Instalación 04 Cálculo de sección

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema U:  kV

A medida

Intensidad en Amperios:  A

Calcular intensidad (A)

Nº de cables por fase:

Corriente máxima de cortocircuito

Intensidad (kA):  Divisor (kA):

## Datos de cable

**General Cable**

Quérens eventos Mercados Productos y soluciones Centro de información Trabaja con nosotros Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPR

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos 02 Tipo de cable 03 Instalación 04 Cálculo de sección

**Datos de cable**

Conductor:  Cable  Aluminio  No definido

Asiemento:

Construcción:  Uspide  Tripilar

Armadura:  Sí  No

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amperios: 300.04 A

Nº de cables por fase: 1

Intensidad por cable: 300.04 A

Corriente de cortocircuito: 11.5 kA

Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

## Datos de Instalación

**General Cable**

Quérens eventos Mercados Productos y soluciones Centro de información Trabaja con nosotros Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPR

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos 02 Tipo de cable 03 Instalación 04 Cálculo de sección

**Instalación**

Instalación:  Instalación al aire libre  Instalación enterrada

Cables enterrados:

Formación de cables:   Cables en ovación

Temperatura del terreno:

Resistividad óhmica del suelo:  kΩ/m

Profundidad de cavidado:  m

Nº de circuitos adicionales:

Distancia entre conductores:

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amperios: 300.04 A

Nº de cables por fase: 1

Intensidad por cable: 300.04 A

Corriente de cortocircuito: 11.5 kA

Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

Tipo de cable: HERSANTENE

Int: Cu 12

ARMADURA: No

## Cálculo de sección

**General Cable**

Quérens eventos Mercados Productos y soluciones Centro de información Trabaja con nosotros Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPR

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos 02 Tipo de cable 03 Instalación 04 Cálculo de sección

**Cálculo de sección**

Sección recomendada por calentamiento: 105 mm²

Sección recomendada por cortocircuito: 59 mm²

La sección recomendada es de: 105 mm²

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amperios: 300.04 A

Nº de cables por fase: 1

Intensidad por cable: 300.04 A

Corriente de cortocircuito: 11.5 kA

Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

Tipo de cable: HERSANTENE

Int: Cu 12

ARMADURA: No

Instalación:

Nº de circuitos adicionales: 0

Formación de cables: Triángulo

Temperatura del terreno: 20 °C

Profundidad de cavidado: 1.0 m

Resistividad de suelo: 1.00

Distancia entre conductores: En conductores

Factor de selección: 0.97

Factor de carga: 95.12 %

**Tempe en cables que el factor de carga es superior al 90 %, por lo que existe el riesgo de sobrecargar el cable. La sección recomendada por calentamiento es entonces 105 mm²**

**Triángulo** **Cálculo nuevo**

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSIÓN - ANILLO 1 Y ANILLO 4

## Datos Eléctricos

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema U: 20 KV

Intensidad en Amperios: 433.01 A

N.º de cables por fase: 1

Intensidad: 11.5 Distancias: 0.2

## Datos de cable

**Datos de cable**

Conductor:  Cobre  Aluminio  No definido

Aislamiento: Poliéster reticulado (XLPE)

Construcción:  Unipolar  Tipolar

Armaduras:  SI  No

**Datos eléctricos**  
 Tensión del sistema: 20 KV  
 Intensidad en Amperios: 433.01 A  
 N.º de cables por fase: 1  
 Intensidad por cable: 433.01 A  
 Corriente de cortocircuito: 11.5 kA  
 Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

## Datos de Instalación

**Instalación**

Instalación:  Instalación al aire libre  Instalación enterrada

Cables enterrados: En conducto

Formación de cables: Tribujos  Cables en contacto

Temperatura del terreno: 20 °C

Resistividad térmica del suelo: 1.5 K/mW

Profundidad de tendido: 1.00 m

N.º de circuitos adicionales: 0

Distancia entre circuitos: En contacto

**Datos eléctricos**  
 Tensión del sistema: 20 KV  
 Intensidad en Amperios: 433.01 A  
 N.º de cables por fase: 1  
 Intensidad por cable: 433.01 A  
 Corriente de cortocircuito: 11.5 kA  
 Tiempo de cortocircuito: 0.2 s  
 Tipo de cable: HERASTABE 1021 Cu 1s Armadura No

## Cálculo de sección

**Cálculo de sección**

Sección recomendada por calentamiento: 240 mm<sup>2</sup>  
 Sección recomendada por cortocircuito: 50 mm<sup>2</sup>  
 La sección recomendada es de: 240 mm<sup>2</sup>

Tenga en cuenta que el factor de carga es superior al 25 %, por lo que existe el riesgo de sobrecarga en el cable. La sección recomendada por calentamiento es entonces 300 mm<sup>2</sup>

**Datos eléctricos**  
 Tensión del sistema: 20 KV  
 Intensidad en Amperios: 433.01 A  
 N.º de cables por fase: 1  
 Intensidad por cable: 433.01 A  
 Corriente de cortocircuito: 11.5 kA  
 Tiempo de cortocircuito: 0.2 s  
 Tipo de cable: HERASTABE 1021 Cu 1s Armadura No  
 Instalación: N.º de circuitos adicionales: 0  
 Formación de cables: Tribujos  
 Temperatura del terreno: 20 °C  
 Resistividad térmica del suelo: 1.5 K/mW  
 Profundidad de tendido: 1.00 m  
 Distancia entre circuitos: En contacto  
 Factor de utilización total: 0.17  
 Factor de carga: 33.67 %

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION - ANILLO 3

## Datos Eléctricos

**General Cable**

Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos

Tensión del sistema U: 20 kV

Intensidad en Arsenios: 25.86 A

N.º de cables por fase: 1

Intensidad (A): 11.5 Duración (h): 0.2

## Datos de cable

**General Cable**

Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

02 Datos de cable

Conductor:  Cobre  Aluminio  No definido

Aislamiento:

Construcción:  Unipolar  Tripolar

Armados:  Sí  No

**Datos eléctricos**  
Tensión del sistema: 20 kV  
Intensidad en Arsenios: 25.86 A  
N.º de cables por fase: 1  
Intensidad por cable: 25.86 A  
Corriente de cortocircuito: 11.5 kA  
Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

## Datos de Instalación

**General Cable**

Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

03 Datos de Instalación

Instalación:  Instalación al aire libre  Instalación enterrada

Cables enterrados:

Formación de cables:  cables en contacto

Temperatura del terreno: 20 °C

Resistividad térmica del suelo: 1.5 W/mV

Profundidad de tendido: 1.00 m

N.º de circuitos adicionales: 0

Distancia entre circuitos:

**Datos eléctricos**  
Tensión del sistema: 20 kV  
Intensidad en Arsenios: 25.86 A  
N.º de cables por fase: 1  
Intensidad por cable: 25.86 A  
Corriente de cortocircuito: 11.5 kA  
Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

**Tipo de cable**  
HERSIATEME  
RM2i Cu 1s  
Armado: No

## Cálculo de sección

**General Cable**

Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

04 Cálculo de sección

Sección recomendada por calentamiento: 16 mm<sup>2</sup>  
Sección recomendada por cortocircuito: 50 mm<sup>2</sup>  
**La sección recomendada es de: 50 mm<sup>2</sup>**

**Datos eléctricos**  
Tensión del sistema: 20 kV  
Intensidad en Arsenios: 25.86 A  
N.º de cables por fase: 1  
Intensidad por cable: 25.86 A  
Corriente de cortocircuito: 11.5 kA  
Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

**Tipo de cable**  
HERSIATEME  
RM2i Cu 1s  
Armado: No

**Instalación**  
N.º de circuitos adicionales: 0  
Formación de cables: Triángulo  
Temperatura del terreno: 20 °C  
Resistividad térmica del suelo: 1.5 W/mV  
Profundidad de tendido: 1.00 m  
Distancia entre circuitos: En contacto  
Factor de conexión total: 0.97  
Factor de carga: 22 %

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION – SE-20/CHILLER

## Datos Eléctricos

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quérens somos | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Home / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos | 02 Tipo de cable | 03 Instalación | 04 Cálculo de sección

**Datos eléctricos**

Tensión del sistema: 20 kV  
 A modo  V

Intensidad en Amperios: 150 A  
 Calcular intensidad (A)

N.º de cables por fase: 1

Corriente máxima de cortocircuito  
 Intensidad (kA): 1.5 | Duración (s): 0.2

## Datos de cable

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quérens somos | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Home / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos | 02 Tipo de cable | 03 Instalación | 04 Cálculo de sección

**Datos de cable**

Conductor:  Cobre  Aluminio  No estriado

Aislamiento: Protección entubado (LPE)

Construcción:  Unipolar  Triplex

Armadas:  Sí  No

**Datos eléctricos**  
 Tensión del sistema: 20 kV  
 Intensidad en Amperios: 150 A  
 N.º de cables por fase: 1  
 Intensidad por cable: 150 A  
 Corriente de cortocircuito: 1.5 kA  
 Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

## Datos de Instalación

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quérens somos | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Home / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos | 02 Tipo de cable | 03 Instalación | 04 Cálculo de sección

**Instalación**

Instalación al aire libre  Instalación enterrada

Cables enterrados: En conductos

Formación de cables: Triplex  Cables en contacto

Temperatura del terreno: 25 °C

Resistividad térmica del suelo: 1.8 K·m/W

Profundidad de sección: 1.00 m

N.º de circuitos adicionales: 0

Distancia entre alambres: En conductos | mm

**Datos eléctricos**  
 Tensión del sistema: 20 kV  
 Intensidad en Amperios: 150 A  
 N.º de cables por fase: 1  
 Intensidad por cable: 150 A  
 Corriente de cortocircuito: 1.5 kA  
 Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

**Tipo de cable**  
 HTS20/11  
 Armadura: No

## Cálculo de sección

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quérens somos | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Home / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

**Cálculo para Media Tensión**

01 Datos eléctricos | 02 Tipo de cable | 03 Instalación | 04 Cálculo de sección

**Cálculo de sección**

Sección recomendada por calentamiento: 50 mm<sup>2</sup>  
 Sección recomendada por cortocircuito: 50 mm<sup>2</sup>  
**La sección recomendada es de: 50 mm<sup>2</sup>**

**Datos eléctricos**  
 Tensión del sistema: 20 kV  
 Intensidad en Amperios: 150 A  
 N.º de cables por fase: 1  
 Intensidad por cable: 150 A  
 Corriente de cortocircuito: 1.5 kA  
 Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

**Tipo de cable**  
 HTS20/11  
 Armadura: No

**Instalación**  
 N.º de circuitos adicionales: 0  
 Formación de cables: Triplex  
 Temperatura del terreno: 25 °C  
 Resistividad térmica del suelo: 1.8 K·m/W  
 Profundidad de sección: 1.00 m  
 Distancia entre alambres: En conductos  
 Factor de corrección total: 0.97  
 Factor de carga: 100 %

**Valor** **Cálculo nuevo**

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION – SE-22/BLOQUE SANITARIO

## Datos Eléctricos

## Datos de cable

## Datos de Instalación

## Cálculo de sección



# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION – SE-21/PARKING

## Datos Eléctricos

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quéres saber | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPH

### Cálculo para Media Tensión

Datos eléctricos

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amparos: 14 A

N.º de cables por fase: 1

Intensidad (A): 11.5 | Distancia (m): 0.2

## Datos de cable

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quéres saber | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPH

### Cálculo para Media Tensión

Datos de cable

Conductor:  Cobre  Aluminio  No definido

Aislamiento: Polietileno reticulado (XLPE)

Construcción:  Unicolor  Tripolar

Armadura:  Sí  No

Datos eléctricos

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amparos: 14 A

N.º de cables por fase: 1

Intensidad por cable: 14 A

Corriente de cortocircuito: 11.5 kA

Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

## Datos de Instalación

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quéres saber | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPH

### Cálculo para Media Tensión

Instalación

Instalación:  Instalación al aire libre  Instalación enterrada

Cables enterrados: En contacto

Formación de cables: Triángulo | Cables en contacto

Temperatura del terreno: 25 °C

Resistividad térmica del suelo: 1.2 K·m/W

Profundidad de tendido: 1.00 m

N.º de circuitos adicionales: 0

Distancia entre aisladores: En contacto

Datos eléctricos

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amparos: 14 A

N.º de cables por fase: 1

Intensidad por cable: 14 A

Corriente de cortocircuito: 11.5 kA

Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

Tipo de cable: HERAVENE

N.º de hilos: 19

Armadura: No

## Cálculo de sección

**General Cable** | Búsqueda en sitio web

Quéres saber | Mercados | Productos y soluciones | Centro de información | Trabajar con nosotros | Noticias y Medios

Inicio / Centro de información / Herramientas y aplicaciones / Cálculo para Media Tensión

Centro de información

Herramientas y aplicaciones

Biblioteca de Catálogos

Videos

Publicaciones Técnicas

Información sobre el sector

Seguridad, medio ambiente y calidad

CPH

### Cálculo para Media Tensión

Cálculo de sección

Sección recomendada por calentamiento: 90 mm²

Sección recomendada por cortocircuito: 50 mm²

La sección recomendada es de: 50 mm²

Valor | Cálculo nuevo

Datos eléctricos

Tensión del sistema: 20 kV

Intensidad en Amparos: 14 A

N.º de cables por fase: 1

Intensidad por cable: 14 A

Corriente de cortocircuito: 11.5 kA

Tiempo de cortocircuito: 0.2 s

Tipo de cable: Armadura: No

R21 Cu: Sí

Armadura: No

Instalación

N.º de circuitos adicionales: 0

Formación de cables: Triángulo

Temperatura del terreno: 25 °C

Resistividad térmica del suelo: 1.2 K·m/W

Profundidad de tendido: 1.00 m

Distancia entre aisladores: En contacto

Punto de conexión total: 0.07

Pérdida de carga: 14.01 %

# DIMENSIONAMIENTO DE CABLES DE MEDIA TENSION / SE-23-SE-24/ DATA CENTER

## Datos Eléctricos

## Datos de cable

## Datos de Instalación

## Cálculo de sección

## ANEXO 11

### Ficha técnica



**Contacto**  
Ventas Local  
ventas.peru@nexans.com

## N2XSY 18/30 kV

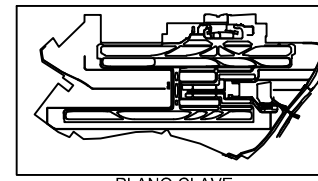
#### Datos Dimensionales

Sección [mm <sup>2</sup> ]	Nº total alambres	Diam. Conductor [mm]	Esp. nom. aislación [mm]	Diám. sobre aislam. [mm]	Diám. sobre pantalla [mm]	Diám. sobre cubierta [mm]	Peso aprox. [kg/km]
50	19	8,01	8,0	23,67	25,4	28,1	1074
70	19	9,78	8,0	25,43	26,8	30,3	1352
95	19	11,55	8,0	27,2	28,6	32	1655
120	37	13,0	8,0	28,65	30,0	33,7	1942
150	37	14,41	8,0	30,06	31,4	35,1	2240
185	37	16,16	8,0	31,81	33,2	37,1	2664
240	37	18,51	8,0	34,16	35,5	39,5	3274
300	37	20,54	8,0	36,2	37,9	41,3	3847
400	61	23,51	8,0	39,16	40,5	44,7	4802
500	61	26,45	8,0	42,11	43,9	47,7	5826
630	61	29,97	8,0	45,63	47,4	51,6	7304

#### Datos Eléctricos - I

Sección [mm <sup>2</sup> ]	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Resistencia del conductor en CA a 90° C - formación plana [Ohm/km]	Resist. Conduct. CA 90° C - form. triang. [Ohm/km]	React. Induct. 60 Hz - formac. plana [Ohm/km]	React. Induct. 60 Hz - formac. triang. [Ohm/km]
50	0,387	0,4937	0,4938	0,2354	0,1657
70	0,268	0,3421	0,3422	0,2281	0,1584
95	0,193	0,2466	0,2468	0,2197	0,15
120	0,153	0,1958	0,1961	0,2137	0,144
150	0,124	0,159	0,1594	0,209	0,1393
185	0,0991	0,1275	0,1281	0,2045	0,1348
240	0,0754	0,0976	0,0985	0,199	0,1293
300	0,0601	0,0785	0,0797	0,193	0,124
400	0,047	0,0624	0,064	0,1899	0,1202
500	0,0366	0,05	0,052	0,1852	0,1156
630	0,0283	0,04	0,0427	0,1817	0,1121

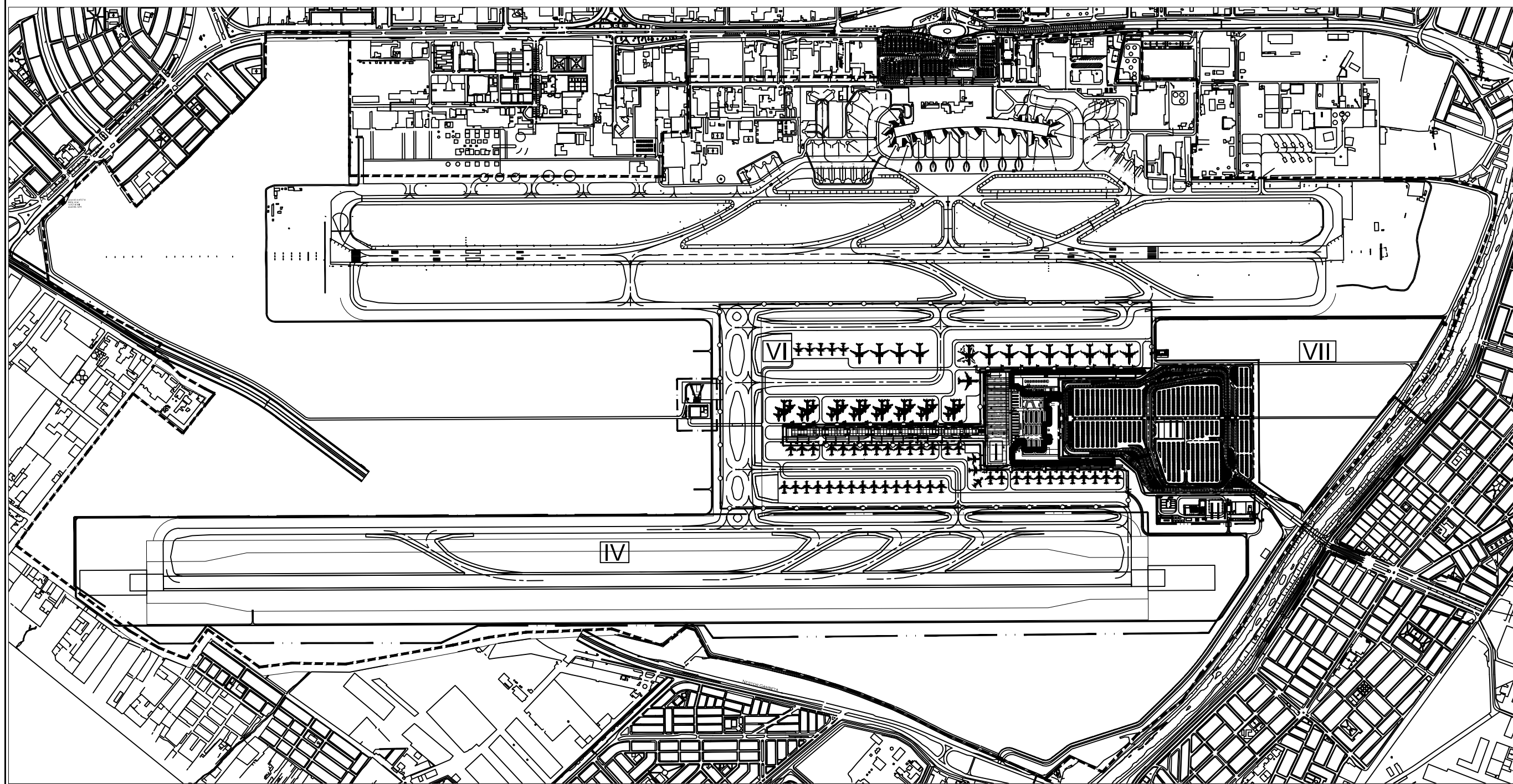
**ANEXO 12**  
**PLANTA GENERAL**



PLANO CLAVE

LEYENDA

- LIMITE DE PROPIEDAD I
- - - AREA TERMINAL II
- - - ESTACIONAMIENTO III
- - - AREA DE UTILIDAD O SERVICIO IV
- - - PISTA DE ATERRIZAJE 2 V
- - - AREA PARA TORRE DE CONTROL Y RESCATE VI
- - - CALLE DE RODAJE VII
- - - AREA FUTURA PARA EXPANSION VIII



PLANTA GENERAL  
ESCALA: SIN ESCALA

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	REV. POR	ESPI. POR

DISENADO POR:	
DIBUJADO POR:	
REVISADO POR:	
APROBADO POR:	

GERENTE DE PROYECTO:	
APROBADO POR:	
LAP:	

LINDEROS ENG:	
---------------	--

SUPERVISOR DE LOS TRABAJOS DE MEJORAS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ		
Recomendación		
CONSORCIO SUPERVISOR	Aprobación	No Aprobación
CESEL - Inieco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fecha/Firma:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OSITRAN	Ratificación	
Fecha/Firma:		

CONTRATISTA: CONSORCIO RS&H - COSAPI

PROYECTO: AMPLIACIÓN Y REMODELACIÓN DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ

SUB-PROYECTO: GENERAL

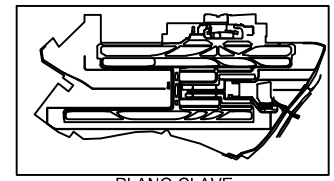
NOMBRE: PLANTA GENERAL

CONCESIONARIO: LAP



ESCALA:	FASE:	FECHA:
PLANO N°:	NUMERO DE REVISIÓN:	

**ANEXO 13**  
**PLANTA GENERAL – SUBESTACIONES ELECTRICAS**



PLANO CLAVE

LEYENDA

-  SUBESTACION
-  SUBESTACION ELECTRICA CON RESPALDO DE GRUPO ELECTROGENO

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	REV. POR	ESD. POR

DESIGNADO POR:	
DIBUJADO POR:	
REVISADO POR:	
APROBADO POR:	
GERENTE DE PROYECTO:	
APROBADO POR:	
LAP:	
LEADER'S ENG:	

SUPERVISOR DE LOS TRABAJOS DE MEJORAS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ		
Recomendación		
CONSORCIO SUPERVISOR	Aprobación con comentarios	No Aprobación
CESEL - Ineco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OSITRAN	Ratificación	
CONTRATISTA:		

CONSORCIO RS&H - COSAPI

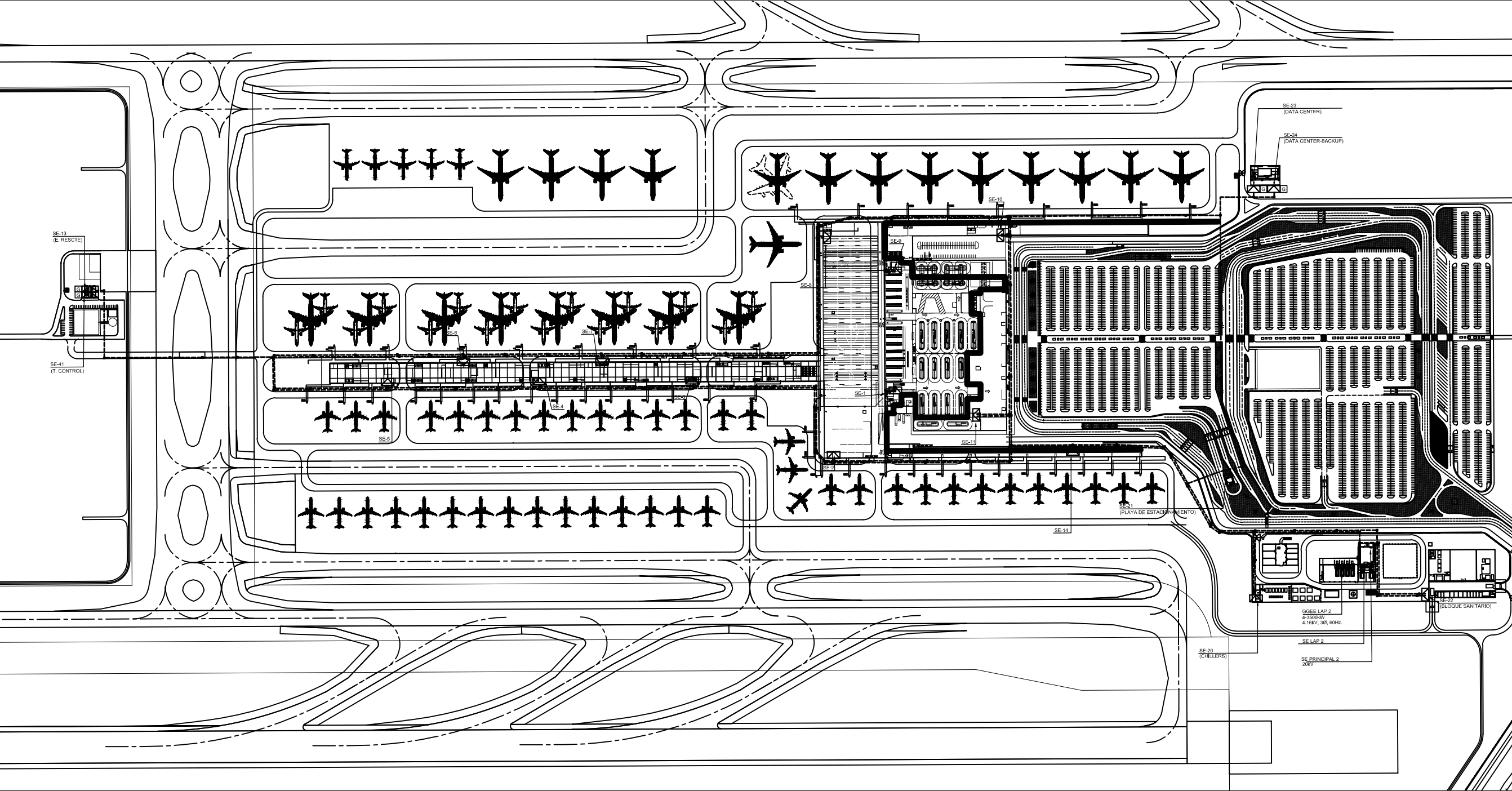
PROYECTO:  
AMPLIACIÓN Y REMODELACIÓN DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ

SUB-PROYECTO:  
GENERAL

NOMBRE:  
PLANTA GENERAL - SUBESTACIONES ELECTRICAS



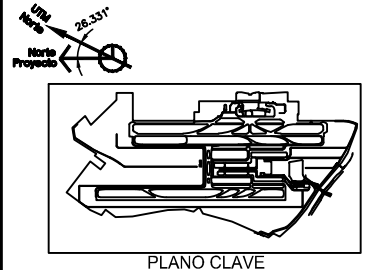
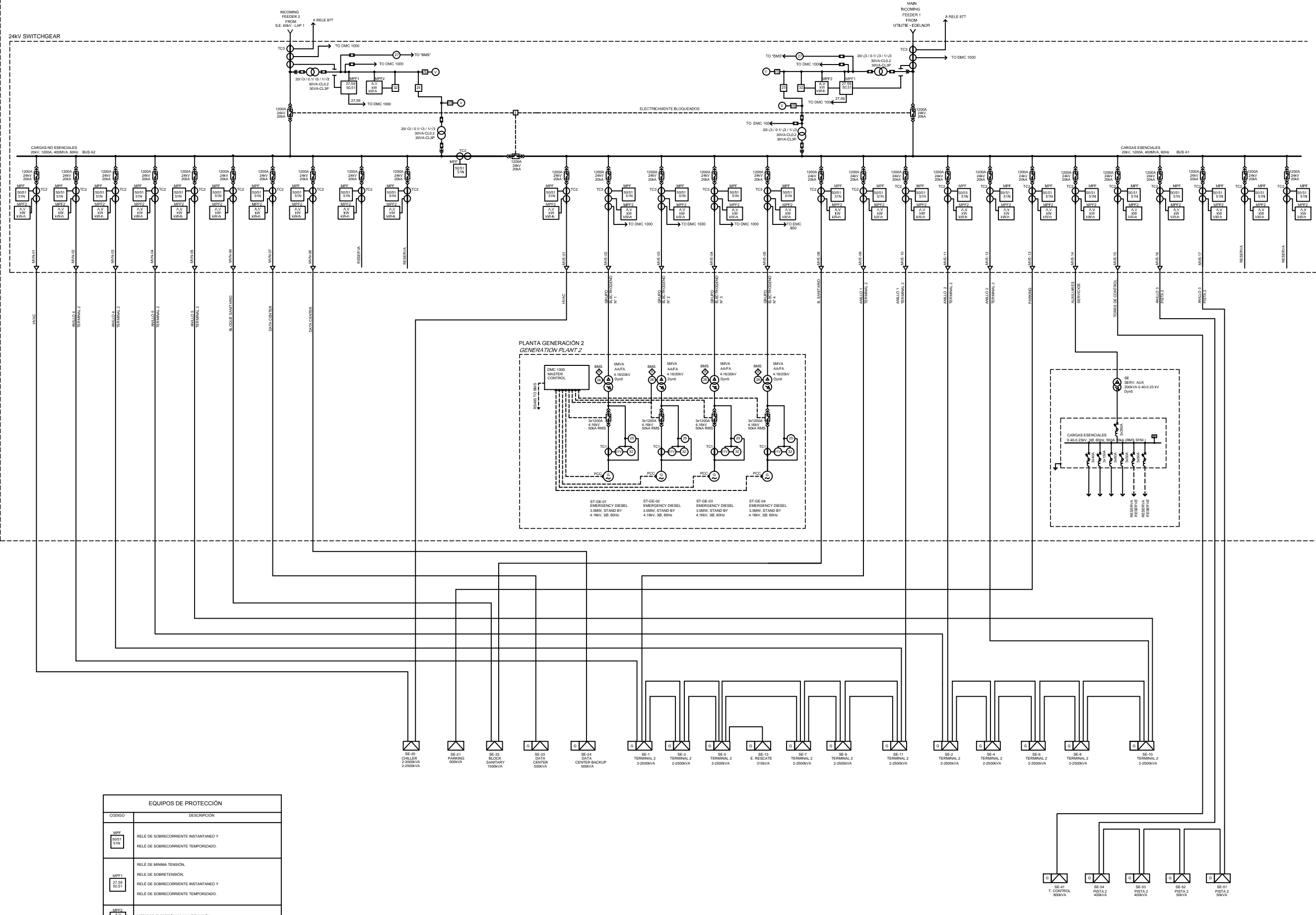
ESCALA:	FASE:	FECHA:
PLANO N°:		NUMERO DE REVISIÓN:



PLANTA GENERAL  
ESCALA: SIN ESCALA

**ANEXO 14**  
**DIAGRAMA UNIFILAR – MEDIA TENSION**





**LEYENDA**  
**LEGEND**

- TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE POTENCIA
- TRANSFORMADOR DE MEDICIÓN
- ENCLAVAMIENTO ELÉCTRICO
- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA MEDICIÓN Y/O PROTECCIÓN 1000VA / 15VA CL.0/1/15VA CL.0/2
- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA MEDICIÓN Y/O PROTECCIÓN 10000VA / 15VA CL.0/2 / 15VA CL.0/2
- GRUPO ELÉCTRICOGÉNERO
- INTERRUPTOR EXTRAÍBLE DE MEDIA TENSIÓN
- INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CON PROTECCIÓN TERMO-MAGNÉTICA
- INTERRUPTOR FLUJO DE MEDIA TENSIÓN
- SECCIONADOR DE POTENCIA
- FUSIBLE
- PROTECCIÓN DE SOBRETENSIONES
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA CON RESPALDO DE GRUPO ELÉCTRICOGÉNERO
- SISTEMA INTERRUPTOR DE POTENCIA
- PUESTA A TIERRA
- PANEL DE MONITOREO Y CONTROL DE ENERGÍA PARA GRUPOS ELÉCTRICOGÉNEROS
- SEÑAL LUMINOSA DE PRESENCIA DE TENSIÓN (COLOR ROJO)
- SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA DE TENSIÓN
- TERMINALES DE CABLES DE MEDIA TENSIÓN
- MANDO MOTORIZADO.

B	20/08/14	WORKSHOP 4	JO	DI
REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	REV. POR	SEV. POR
		FECHA	FIRMA	

DISEÑADO POR: \_\_\_\_\_  
 DIBUJADO POR: \_\_\_\_\_  
 REVISADO POR: \_\_\_\_\_  
 APROBADO POR: \_\_\_\_\_  
 GERENTE DE PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 ATRIBUCIONES:  
 LAP: \_\_\_\_\_

LINDERS' ENG: \_\_\_\_\_  
 SUPERVISOR DE LOS TRABAJOS DE MEJORAS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ  
 RECOMENDACIÓN:  
 Aprobación con comentarios:   
 Aprobación:   
 No Aprobación:   
 Fecha/Firma: \_\_\_\_\_  
 OSITRAN:   
 Fecha/Firma: \_\_\_\_\_  
 CONTRATISTA: CONSORCIO RS&H - COSAPI

PROYECTO: AMPLIACIÓN Y REMODELACIÓN DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ  
 SUB-PROYECTO: GENERAL GENERAL  
 NOMBRE: DIAGRAMA UNIFILAR - MEDIA TENSIÓN

CONCESIONARIO: LAP LIMA AIRPORT PARTNERS  
 ESCALA: FASE FECHA  
 PLANO N°: NÚMERO DE REVISIÓN

**EQUIPOS DE PROTECCIÓN**

CODIGO	DESCRIPCIÓN
MPP 500/15/1	RELE DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO Y RELE DE SOBRECORRIENTE TEMPORIZADO.
MPP1 27.5/30.51	RELE DE MINIMA TENSION, RELE DE SOBRETENSION, RELE DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO Y RELE DE SOBRECORRIENTE TEMPORIZADO.
MPP2 4.0/4.0/4.0	MEDIDOR ELECTRONICO MULTIFUNCION
V	VOLTIMETRO
AL	SEÑAL DE ALARMA
S	RELE DE SINCRONISMO
T	RELE DE TEMPERATURA
MT	RELE DE MINIMA TENSION
DP	RELE DIRECCIONAL DE POTENCIA
VL	RELE DE SOBRECORRIENTE LIMITADOR DE VOLTAJE