



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**INSTALACIONES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE S/E CARRIZAL DE 69/30kV
EN LINEA 2 DE METRO LOS TEQUES**

Por:

José Leonardo Bustamante Jaspe

INFORME DE PASANTÍA

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electricista

Sartenejas, Marzo de 2016



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**INSTALACIONES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE S/E CARRIZAL DE 69/30kV
EN LINEA 2 DE METRO LOS TEQUES**

Por:

José Leonardo Bustamante Jaspe

Realizado con la asesoría de:

Tutor Académico: Alexander Bueno

Tutor Industrial: Wiler Pastran

INFORME DE PASANTÍA

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electricista

Sartenejas, Marzo de 2016

ACTA DE EVALUACIÓN

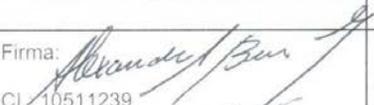
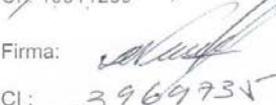
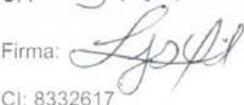
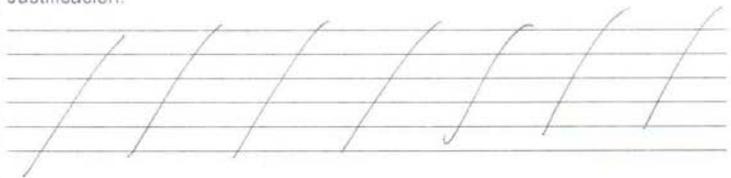
Periodo: Abril-Septiembre 2015 **Fecha:** 26/11/2015 **Tipo Pasantía:** Pasantía larga EP-3420

Título: Instalaciones de media y baja tensión de S/E Carrizal de 69/30kV en línea 2 de Metro Los Teques

Nombres y Apellidos: Jose Leonardo Bustamante Jaspe **CI:** 20870545

Carnet: 08-10151 **Carrera:** Ingeniería Eléctrica 0100

APROBADO: **REPROBADO:**

JURADO EXAMINADOR		
TUTOR ACADÉMICO Nombre: Alexander Bueno	Firma:  CI: 10511239	Sello del Departamento
TUTOR INDUSTRIAL Nombre: Wiler Pastran	Firma:  CI: 3969735	Sello de la Coordinación de Carrera
JURADO Nombre: Luisa Salazar	Firma:  CI: 8332617	Sello del Departamento
<p>Art. 17. Reglamento C.4 Cursos en Cooperación. Cuando la evaluación global del tutor industrial de la pasantía sea igual o superior a 4,5 puntos en la escala de 5, el Jurado Examinador podrá reconocer el trabajo aprobado como SOBRESALIENTE, justificándolo en forma razonada en el Acta:</p>		
<p>Justificación:</p> 		<p>Validación de CCT</p> 
Firmas Jurado Examinador:		

Nota: Este documento no puede llevar tachaduras ni enmiendas y todas las firmas del Jurado Examinador deben estar acompañadas de sus correspondientes sellos en húmedo. En caso de inasistencia del tutor industrial, se debe colocar **NO-PRESENTE** en el espacio reservado para su firma. La evaluación por parte del tutor industrial estará documentada mediante los respectivos procedimientos que establezca el Decanato de Extensión. El Jurado Examinador firmará nuevamente en la zona de justificación al otorgar la mención SOBRESALIENTE.

Puerta de Comunidad a Comunidad

**INSTALACIONES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE S/E CARRIZAL DE 69/30kV
EN LINEA 2 DE METRO LOS TEQUES**

**POR
JOSÉ LEONARDO BUSTAMANTE JASPE**

RESUMEN

El proyecto realizado durante la pasantía se divide en dos fases. La primera se enfoca en la instalación de cableado y equipos de baja y media tensión en las estaciones Zona Rental y Bello Monte de la Línea 5 de la C.A. Metro de Caracas, todo esto como parte de una provisionalidad requerida por la compañía antes mencionada. Durante esta fase se modificaron planos eléctricos conforme eran revisados los nuevos requerimientos necesarios para la provisionalidad, así como también se realizaron cálculos eléctricos para el dimensionamiento del cableado de 750 VCC y se verificó la correcta implantación de disyuntores, seccionadores y cableado de distribución de 30 kV. La segunda parte se orientó hacia el dimensionamiento de cableado y equipos de media y alta tensión para la S/E 69/30 kV Carrizal, ubicada en los Teques. En esta fase se realizaron actividades tales como el dimensionamiento de los transformadores de potencia a partir de las cargas futuras a ser alimentadas por la S/E 69/30 kV, el dimensionamiento de los seccionadores de potencia encargados de la alimentación de los transformadores de acuerdo a los resultados de cortocircuito en la acometida de la S/E y el dimensionamiento del cableado de 30 kV desde la salida de los transformadores hasta las celdas de distribución.

Palabras Claves: Subestación, disyuntor, seccionador, tercer riel, aislamiento, interruptora, transformador.

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre, padre y hermana

Por todo su amor y apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme todo lo que tengo, por permitirme estudiar en la maravillosa Universidad Simón Bolívar y por guiarme con su sabiduría en todo camino que recorro.

A mi mamá, Judith Celeste, por guiarme siempre que me perdía, por levantarme siempre que caía, por añorar siempre lo mejor para mí y por brindarme siempre todo su amor y apoyo.

A mi padre, José Bustamante, por ser mi primer profesor y ser el mejor ejemplo que pueda existir.

A mi hermana, Adriana Bustamante, por ser mi mejor amiga desde siempre.

A mi abuela, Eva Ortiz, por todo su apoyo en mis estudios y siempre estar allí presente.

A Leiry Chinchilla, por tantos momentos especiales y todo su apoyo.

A mi tutor académico, Alexander Bueno, por toda su paciencia y excelente guía a lo largo de todo el proceso de pasantía.

A los altos panas, Ing. Kevin Urriola, Ing. Lucio González, a mi tutor industrial Ing. Wiler Pastran y todo el personal de Alstom Transport, por toda la ayuda brindada, dudas aclaradas y por permitirme formar parte de su excelente equipo.

A mis compañeros de carrera y buenos amigos Jean Nava, Andrés Klopp, Andrea Guillermo, Edgardo Serrano, Andrés Vargas, José Jiménez y tantos otros, quienes me brindaron los mejores momentos e hicieron del tiempo en la universidad algo más que un lugar académico.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	1
DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	1
1.1 Reseña Histórica [1]	1
1.2 Organización [1].....	1
CAPÍTULO 2	4
TERMINOS Y DEFINICIONES	4
2.1 Conceptos empleados	4
2.2 Documentación.....	12
2.2.1 Base de datos interna	13
2.2.1.1 Identificación del estatus de documentos	13
2.2.2 Macros para ejecución de reportes.....	15
CAPÍTULO 3	6
MARCO TEÓRICO	6
3.1 Subestaciones principales 69/30 kV	6
3.2 Requerimientos de Obra Civil en subestaciones 69/30 kV	17
3.2.1 Cuarto de Equipos.....	18
3.2.2 Sótano de cableado	19
3.2.3 Patio de transformación (Solo en S/E 69/30 kV).....	19
3.3 Descripción de circuitos	20
3.2.1 Circuitos 30 kV.....	20
3.2.2 Circuitos 750 Vcc	23
3.2.2.1 Aislamiento Positivo.....	23
3.2.2.2 Aislamiento Negativo	24
3.2.2.3 Aislamiento Cola de Maniobra.....	25
3.4 Normas Aplicables.....	28
3.5 Dimensionamiento de transformadores de Potencia.....	29
3.6 Dimensionamiento de seccionadores de potencia	29
3.7 Calculo de Caída de Tensión	29

3.8	Verificación de Ampacidad	30
3.8.1	Circuitos 30 kV	30
3.8.2	Circuitos 750 Vcc	31
CAPÍTULO 4		17
INGENIERIA BASICA PARA PROVISIONALIDAD BELLO MONTE		17
4.1	Descripción del Proyecto	17
4.2	Estación Zona Rental	33
4.2.1	Circuitos 30 kV	35
4.2.1.1	Diagrama Unifilar de recorrido 30 kV	35
4.2.1.2	Recorrido Preliminar	36
4.2.1.3	Conductores	37
4.2.1.4	Bandejas Portacables	38
4.2.1.5	Reservaciones civiles	38
4.2.2	Circuitos 750 Vcc	38
4.2.2.1	Aislamiento Positivo	39
4.2.2.1.1	Descripción Unifilar Aislamiento Positivo	39
4.2.2.1.2	Recorrido Preliminar	40
4.2.2.1.3	Conductores	41
4.2.2.1.4	Bandejas portacables	44
4.2.2.2	Aislamiento positivo provisional	44
4.2.2.3	Aislamiento negativo	45
4.2.2.3.1	Descripción Unifilar Aislamiento Negativo	45
4.2.2.3.2	Recorrido preliminar	46
4.2.2.3.3	Conductores	47
4.2.2.3.4	Bandejas Portacables	47
4.2.2.3.5	Implantación final	47
4.3	Estación Bello Monte	49
4.3.1	Circuitos 30 kV	51
4.3.1.1	Diagrama Unifilar de recorrido 30 kV	51
4.3.1.2	Recorrido Preliminar	52
4.3.1.3	Conductores	53
4.3.1.4	Bandejas Portacables	53

4.3.2	Circuitos 750 VCC	53
4.3.2.1	Descripción Unifilar en Cola de Maniobra.....	54
4.3.2.2	Implantación de equipos	54
CAPÍTULO 5		33
ESTUDIO CONCEPTUAL SUBESTACIÓN CARRIZAL 69 / 30 KV		33
5.1	Datos Conceptuales de la Acometida de CORPOELEC	33
5.1.1	Antecedentes para la Línea 69 kV	33
5.1.2	Ubicación Geográfica de la Línea 69kV	33
5.1.3	Descripción de la línea de alimentación	57
5.1.4	Beneficios de la Línea	57
5.2	Localidad de la S/E.....	57
5.3	Dimensionamiento del Transformador	57
5.3.1	Distribución de las Cargas	58
5.3.1.1	Consumo de la Línea	58
5.3.2	Capacidad del Transformador.....	60
5.4	Características del Transformador	60
5.4.1	Características Físicas.....	61
5.4.2	Características Eléctricas	63
5.5	Dimensionamiento de Seccionadores de Potencia.....	66
5.5.1	Características Eléctricas	67
5.5.2	Características Físicas.....	68
5.5.3	Mando Eléctricos	68
5.6	Reservaciones civiles en el Patio	69
5.7	Selección de conductores.....	69
5.6.1	Características de los conductores	69
5.6.2	Verificación de Caída de Tensión.....	70
CONCLUSIONES.....		71
RECOMENDACIONES		73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		74
ANEXOS		57
ANEXO A		57
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....		57

ANEXO A.1	78
ESPECIFICACIONES TECNICAS CABLES 5 KV.....	78
ANEXO A.2	82
ESPECIFICACIONES TECNICAS CABLES 30 KV.....	82
ANEXO A.3	86
ESPECIFICACIÓN CAPACIDAD DE BANDEJAS PORTACABLES CABLES 30 KV	86
ANEXO B	86
TABLAS DE ESPECIFICACIÓN TECNICAS	86
ANEXO B.1	89
CONSUMO DE TRENES GENERACIÓN MCL1	89
ANEXO B.2	90
COMPUTOS METRICOS CABLES 750 VCC ZONA RENTAL Y 30 KV CARRIZAL	90
ANEXO B.3	90
ALTURAS DE SEGURIDAD A PARTES ACTIVAS NO RESGUARDADAS (C.E.N.)	90
ANEXO C	88
CALCULOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE CABLES.....	88
ANEXO D	91
DIAGRAMA UNIFILAR CIRCUITOS 750 VCC ESTACION ZONA RENTAL	91
ANEXO E.....	91
EJEMPLO IMPLANTACION DE EQUIPOS S/E 69/30 KV CARRIZAL	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Numero de cables para cada recorrido	43
Tabla 4.2: Caídas de tensión para cables 750 MCM en Zona Rental.....	43
Tabla 4.3: Caída de tensión para cables de aislamiento negativo	47
Tabla 5.1: Demandas Centros de distribución Líneas 1 y 2 Metro Los Teques.....	58
Tabla 5.2: Demandas S/E Líneas 1 y 2 Metro Los Teques	59
Tabla 5.3: Demandas Circuitos Auxiliares Líneas 1 y 2 Metro Los Teques.....	59
Tabla 5.4: Demandas totales Líneas 1 y 2 Metro Los Teques.....	59
Tabla 5.5: Niveles de aislamiento normalizados para la Gama I ($1 \text{ kV} < U_m < 245 \text{ kV}$)	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Rieles de Rodamiento	9
Figura 2.2: Riel de Contacto (3er Riel)	11
Figura 2.3: Parte Fija 3-Ways.....	11
Figura 2.4: Parte móvil (Toma RTE) de 3-Ways / 4-Ways.....	12
Figura 2.5: De izquierda a derecha a) Arreglo con 3-Ways ; b) Arreglo con 4-Ways	12
Figura 2.6: Base de datos con estatus respectivos	14
Figura 2.7: Resultado Macro generación de Reportes.....	15
Figura 3.1: Diagrama unifilar S/E 69/30 kV	17
Figura 3.2: Bandeja tipo escalera	23
Figura 3.3: Bandeja tipo ranurada	28
Figura 4.1: Nivel Anden Estación Zona Rental.....	34
Figura 4.2: Diagrama Unifilar Estación Zona Rental.....	35
Figura 4.3: 2 fases del 4-Way de vía 1 en Sótano de S/E.....	36
Figura 4.4: Recorrido 30 kV Estación Zona Rental	37
Figura 4.5: Diagrama Unifilar Aislamiento Positivo.....	39
Figura 4.6: Espacio destinado a disyuntores de Aislamiento Positivo	40
Figura 4.7: Recorrido circuitos 750 VCC.....	41
Figura 4.8: Implantación final de seccionadores provisionales.....	44
Figura 4.9: Diagrama Unifilar Aislamiento negativo.....	45
Figura 4.10: Espacio destinado a seccionadores de circuito negativo.....	46
Figura 4.11: Esquema de conexión de seccionadores a rieles de rodamiento	46
Figura 4.12: Recorrido final para circuito de aislamiento negativo	48
Figura 4.13: Arquitectura nivel Mezzanina Estación Bello Monte	50
Figura 4.14: Diagrama unifilar Provisionalidad Bello Monte	51
Figura 4.15: Recorrido de cables 30 kV en Bello Monte	52
Figura 4.16: Espacio para abertura de ventilación de emergencia	53
Figura 4.17: Diagrama Unifilar de Contactor Bipolar en Cola de Maniobra	54
Figura 5.1: Dibujo esquemático de Transformador seleccionado	63

LISTA DE SIMBOLOS

ΔV	Caída de Tensión
r	Resistencia
φ	Factor de Potencia
x :	Reactancia
V	Voltaje
I	Corriente
S	Potencia aparente
A	Amperios
Ω	Ohmios
$m\Omega$	Mili Ohmios (10^{-3})
$I_{CC-3\varphi}$	Corriente de cortocircuito trifásica
$I_{CC-1\varphi}$	Corriente de cortocircuito monofásica

LISTA DE ABREVIATURAS

TGS:	Transport Global Solutions
CLII:	Consortio Línea II
MLT2	Metro los Teques Línea 2
CAMC	Compañía anónima Metro de Caracas
CAMLT	Compañía anónima Metro Los Teques
CDP	Centro de distribución de potencia
TRA	Grupo electrificación para tracción
MT	Media tensión
AT	Alta tensión
S/E	Subestación
MCM	Mil Circular Mils
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
NEMA	Asociación nacional de productores eléctricos (<i>National Electrical Manufacturers Association</i>)
EN	Comité europeo de normalización
LONG	Longitud
CEN	Código eléctrico nacional
OAM	Subestación Oscar Augusto Machado,
XLPE	Polietileno reticulado
ONAN	Refrigeración natural (Oil natural, Air natural)
ONAF	Refrigeración forzada (Oil natural, Air forced)
TC	Transformador de corriente
BIL	Nivel de impulso

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el Metro de Caracas ha llegado a convertirse en el principal medio de transporte, tanto de los habitantes de la ciudad, como también de habitantes de otras localidades tales como Los Teques, Guarenas y los Valles del Tuy. El incremento poblacional ha conllevado a la saturación de algunas de las líneas, siendo la Línea 1 una de las más críticas.

Ante tal situación se comenzó, a mediados del año 2011 la construcción de la Línea 5, la cual servirá como vía alterna dado su trayecto paralelo a la Línea 1. Esto permitirá el descongestionamiento del tramo Plaza Venezuela – Miranda, así como también servirá como medio de transporte para los habitantes del sureste de la ciudad.

Este año se ha provisto la inauguración parcial de una de las estaciones de Línea 5, específicamente la Estación Bello Monte. Para esto, se ha establecido un proyecto que permita la rápida activación de la estación por medio de instalaciones provisionales, al mismo tiempo que se continúa con la construcción de las instalaciones definitivas.

Por otro lado, el Metro Los Teques es el principal medio de transporte que conecta la ciudad de Los Teques con la capital, funcionando como vía alterna a las dos vías ya existentes (Carretera Panamericana y la Carretera vieja de Los Teques). La Línea 2 expandirá el sistema llegando a los demás poblados de los altos mirandinos.

Tanto la Línea 1 como la Línea 2 del Metro Los Teques serán alimentadas desde una subestación principal 69/30 kV ubicada en Carrizal, una vez finalizada la construcción de esta última.

El objetivo de esta pasantía es brindar el apoyo técnico necesario para todo lo relacionado con los movimientos provisionales a realizar para la inauguración parcial de la estación Bello Monte, dentro de lo cual se deberán llevar a cabo actividades como inspección de campo, identificación

de problemas, planteamiento de soluciones y verificación de datos provistos; así como también llevar el control y actualización de la documentación referida al proyecto.

Dada la programación planteada, el alcance de la pasantía para las actividades referentes a Línea 5 se remitirá a las establecidas para el periodo Abril – Junio 2015. Al finalizar el periodo se mostró un avance con la finalidad de conocer el progreso del proyecto.

De la misma forma, dentro del alcance del trabajo de pasantía se previó la creación de un programa que automatice la generación de reportes sobre la documentación, esto con la finalidad de facilitar la revisión de los documentos.

También se tiene planteado el apoyo con la ingeniería de detalle para la subestación principal Carrizal antes mencionada, específicamente en la verificación de los equipos y cableados a ser instalados. Para ello se deberán especificar los detalles técnicos de los equipos en el patio de transformación y comprobar que estos equipos y/o configuraciones sean correctos. El alcance se remitirá solo a la evaluación de los equipos y cableado en el patio de transformación y en el cuarto de equipos.

Las actividades a realizar para Carrizal serán realizadas de manera conceptual, ya que el comienzo de la obra está pautado para el próximo año.

El libro consta dos fases divididas a lo largo de cinco capítulos, una referente a la Línea 5 del CAMC y otra a la Línea 2 del CAMLT. En el primero de estos capítulos se da una breve reseña acerca de la historia de la empresa, sus funciones y los proyectos más relevantes en los que ha participado en el territorio venezolano.

El segundo y el tercer capítulo se enfocan en la definición de términos y marco teórico respectivamente, donde se detallan los conceptos necesarios para la realización de la pasantía.

El cuarto capítulo se orienta a la instalación de equipo de seccionamiento y cableado para la provisionalidad Bello Monte en la Línea 5 del CAMC, mientras que el quinto capítulo se enfoca en el dimensionamiento de los transformadores y seccionadores de la S/E 69/30 kV Carrizal, así como en la instalación del cableado desde los transformadores hacia las celdas de distribución.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCION DE LA EMPRESA

1.1 Reseña Histórica [1]

Alstom es una compañía transnacional fundada en 1928 encargada de la proveeduría, construcción y mantenimiento de equipo para sistemas ferroviarios. También provee servicios a otras fuentes de energía, tales como energía hidroeléctrica, nuclear, gas, carbón y eólica, y ofrece soluciones a sistemas de transmisión de potencia, especializándose en el área de Redes Inteligentes.

Alstom está presente en alrededor de 100 países y tiene unos 96 mil empleados permanentes (contados hasta el 31 de marzo de 2014), siendo su presidente el señor Patrick Kron.

1.2 Organización [1]

Alstom se conforma de cuatro grupos, cada uno dedicado a una especialidad del sector eléctrico. Estas son “Thermal Power”, “Renewable Power”, “Grid” y “Transport” relacionadas con energías térmicas, energías renovables, redes de potencia y transporte respectivamente. El trabajo que se presenta a continuación se hace bajo la dirección del grupo Alstom Transport, bajo los lineamientos de la Unidad TGS “Transport Global Solutions”.

El Grupo Alstom ha brindado su aporte a diferentes proyectos a lo largo del país tales como:

- 1981: participación en el sistema principal de transmisión a 765kV
- 1983: Construcción de Planta Centro
- 2002: Modernización de Plantas hidráulica

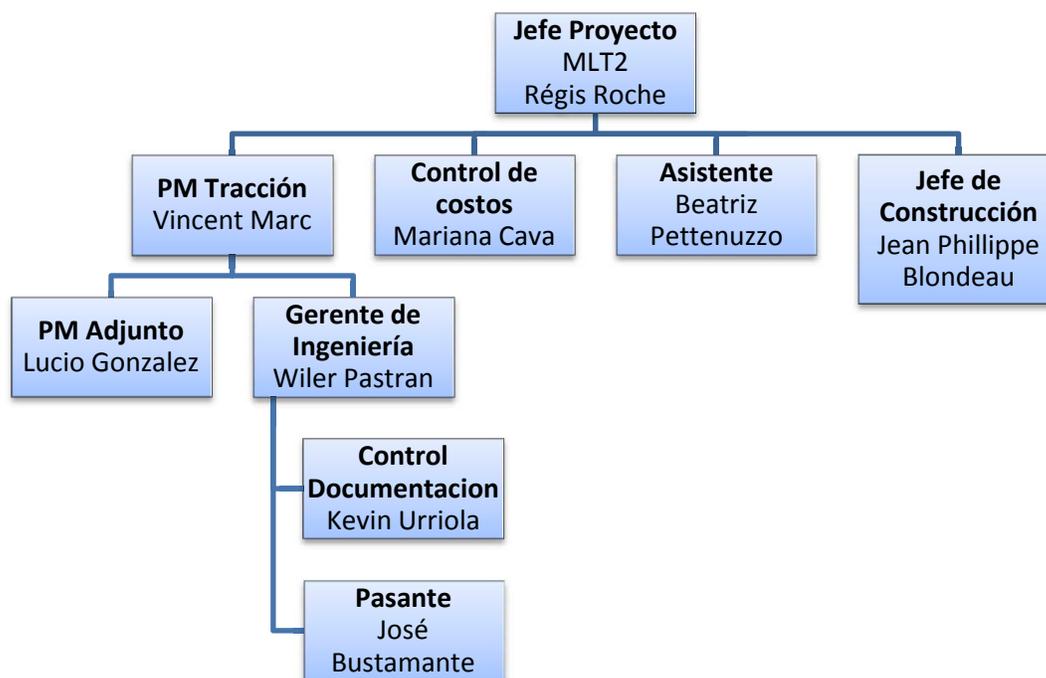
El área de transporte ha brindado sus servicios para diversos proyectos en Venezuela desde hace varios años. Algunos de estos proyectos son:

- 1983-1989: Construcción del Metro de Caracas Línea 1
- 1987-1988: Construcción del Metro de Caracas Línea 2
- 1994/ 2006-2010: Construcción del Metro de Caracas Línea 3
- 2002-2006: Construcción del Metro de Caracas Línea 4
- 2006-2008: Construcción del Metro Los Teques Línea 1
- 2007-2009: Modernización de Trenes del Metro de Caracas Líneas 1 y 2

Proyectos en Construcción:

- 2011 – Actualidad: Construcción de Metro los Teques Línea 2, que consiste en 132 vagones, 12 km y 6 estaciones bajo el consorcio CLII liderado por Odebrecht.
- 2013 – Actualidad: Construcción Línea 5 Metro de Caracas

En el siguiente diagrama se puede observar la organización del personal de la disciplina Tracción:



CAPÍTULO 2

TERMINOS Y DEFINICIONES

2.1 Conceptos empleados

ACOMETIDA:

Conductores y equipos que entregan energía eléctrica desde un sistema de suministro eléctrico al sistema de cableado del predio servido. [2]

ALIMENTADOR (FEEDER):

Todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida, la fuente de suministro de un sistema derivado separadamente u otra fuente de suministro y el último dispositivo de sobrecorriente del circuito ramal. [2]

AMPACIDAD:

La corriente, en amperios, que un conductor puede transportar en forma continua, en las condiciones en que se le usa, sin exceder su temperatura de régimen. [2]

BANDEJAS PORTACABLES:

Es una unidad o un conjunto de unidades o secciones, incluyendo sus accesorios asociados, que forman un sistema estructural rígido utilizado para sujetar firmemente o soportar cables. [3]

CABLE RADIANTE:

Consiste en un cable que posee una función análoga a una antena o repetidor, con la diferencia que permite la irradiación de frecuencias de banda ancha con una cobertura lineal a lo largo de un tramo específico. Es muy utilizado en lugares donde la cobertura es muy baja o nula, tales como túneles.

CENTRO DE DISTRIBUCION DE POTENCIA (CDP):

Su función es distribuir el sistema de electrificación para auxiliares a lo largo de las líneas tanto de CAMC como de CAMLT. Está diseñado para la alimentación a los sistemas de baja tensión tales como:

- Subestación principal 69/30 kV, subestaciones de tracción e interruptoras
- Iluminación (túneles, estaciones de pasajeros, edificios diversos, etc.)
- Tomacorrientes
- Motores de agujas
- Sistema de energía de emergencia (SEDE)
- Sistema de bombeo de agua potable, de drenaje, aguas negras y sistema contra incendios
- Escaleras mecánicas
- Ascensores
- Sistemas de aire acondicionado
- Ventilación de emergencia
- Tablero de servicios auxiliares
- Tablero cargador de baterías de la planta de emergencia
- Ventilación forzada para el centro de potencia (CDP)

Los niveles de tensión utilizados para estos servicios son 480Vca, 277Vca, 208Vca y 120Vca.

[4]

COLA DE MANIOBRA:

Es una sección de rieles ubicada luego del fin de andén de la estación Bello Monte, cuya función es la de permitir estacionar un tren con fallos menores para disponer a su reparación, pudiendo realizarse en horario comercial.

CERRADURA ANTI PANICO:

Es una barra situada en la parte interior de una puerta, y que permite liberarla al aplicar presión sobre la puerta. [5]

CORTE NO PUENTEABLE:

Es aquel que no puede ser puentado por las zapatas colectoras de un vehículo. [4]

CORTE PUENTEABLE:

Es aquel que le permite a un vehículo tomar energía 750Vcc sin interrupción, puentando las secciones de riel con las zapatas colectoras. [4]

DISYUNTOR DE SECCIONAMIENTO:

Es un disyuntor monopolar de 750Vcc cuyo primer terminal está conectado a una sección del riel de contacto, y la otra está conectada a la otra sección del riel de contacto, de manera que el cierre de este disyuntor permitirá unir las dos secciones del riel de contacto. [4]

DISYUNTOR DE SECCIONAMIENTO DE TRAMO:

Es un disyuntor monopolar de 750Vcc cuyo primer terminal está conectado a una de las dos secciones del riel de contacto, y el otro terminal está conectado a la sección de protección. [4]

ESTACIÓN:

Estructura física o edificación destinada al ingreso o salida de los usuarios del sistema Metro. En la mayoría de los casos sirve como localidad para las S/E de tracción y Centros de Distribución.

ESTACIÓN DE PUESTA A TIERRA (EPT):

Consisten en placas rectangulares fijadas a alguna pared, con dimensiones 40cm x 7,50cm x 0,90cm. Todos los equipos ubicados tanto en la subestación como en el sótano de cableado deberán conectarse sólidamente a tierra por medio de estas estaciones. [4]

EQUIPO:

Término general que incluye material, accesorios, dispositivos, artefactos, luminarias, aparatos y similares que se usan como partes de, o en conexión con, una instalación eléctrica. [2]

ESTACION INTERRUPTORA:

Tiene como finalidad permitir el corte de dos secciones de riel de contacto para el despeje de fallas o mantenimiento de la vía, utilizando un corte del tipo no puentable. Entre estas dos secciones existirá un tramo de seccionamiento de protección o cupón de protección, cuya conexión con cada tramo será del tipo puentable. Para la interrupción de estos tramos la interruptora se vale de disyuntores.

ENCLAVAMIENTO:

Son procedimientos mecánicos por medio de los cuales se garantizan condiciones seguras de trabajo durante el mantenimiento de algún equipo que normalmente esta energizado.

GAS INERGEN

El gas INERGEN es un agente de extinción de incendios que se puede utilizar en diversos tipos de incendio. El agente INERGEN es una mezcla de tres gases presentes en la naturaleza: nitrógeno, argón y dióxido de carbono. Dado que el agente INERGEN está compuesto de gases presentes en la atmósfera terrestre, presenta un potencial de agotamiento de la capa de ozono nulo, no contribuye al calentamiento global ni desprende compuestos químicos especiales con tiempos de vida en la atmósfera extensos. [6]

Sus características físicas son:

- Peso específico: 0,085 lbs/ft³ (1,36 kg/m³)
- Densidad de vapor: 1,1 (aire = 1)
- Peso molecular aproximado: 34

INTERRUPTOR:

Dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito de manera no automática y abrir el circuito automáticamente cuando se produzca una sobrecorriente predeterminada sin daños para el mismo cuando se aplique adecuadamente dentro de su régimen. [2]

PASATAPA:

También son llamados aisladores pasantes. Su función es pasar los bornes del transformador hacia el exterior de la cuba. Por lo general son hechos de porcelana y pueden ser rellenos de aire o aceite [7]

PROTECCION DE FALLA A TIERRA

Dispositivo destinado a la protección de personas, que funciona abriendo un circuito o parte del mismo, dentro de un período determinado, cuando ocurre una corriente de falla a tierra que excede un valor predeterminado, menor que el necesario para accionar la protección de sobrecorriente del circuito de alimentación. [2]

RESERVACIÓN CIVIL:

Son todas aquellas actividades realizadas en la obra civil para permitir la instalación de equipos o mejorar las instalaciones.

RIEL DE RODAMIENTO:

Son las barras metálicas sobre las que se deslizan los trenes. Aparte de la función de soporte también poseen función de retorno para la corriente que sale de los motores, por lo que forman parte importante del circuito de tracción. En la Figura 2.1 se aprecian los rieles de rodamiento en una estación del Metro de Caracas.



Figura 2.1: Rieles de Rodamiento

SECCIONADOR:

Como su nombre lo indica es un elemento de seccionamiento que, a diferencia del interruptor, no posee capacidad de corte bajo carga, por lo que solo son operados cuando ya el circuito se encuentra sin carga. Existen seccionadores capaces de maniobrar con cargas bajas, más no son capaces de despejar corrientes de falla.

SECCION DE PROTECCION / CUPON DE PROTECCION:

Es una sección intermedia de riel de contacto entre dos tramos de riel distintos. Tiene la función de interrumpir posibles corrientes de falla que pudieran circular por el riel de contacto entre un tramo y el otro.

El cupón de protección está diseñado de forma que solo un vagón de los seis que cargarán los trenes pueda ser energizado al pasar por este.

SOBRECORRIENTE:

Cualquier valor de corriente, en exceso de la corriente nominal del equipo, o sobre la ampacidad de un conductor. La sobrecorriente puede ser originada por una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra. [2]

SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN:

La subestación de tracción es la instalación en la que se realiza la conexión de los tramos de la electrificación de transporte. Para ello, se realiza la transformación de 30kV proveniente de las S/E 69/30kV a 750 Vcc para posteriormente distribuirlo a los trenes por medio del riel de contacto.

TERCER RIEL / RIEL DE CONTACTO:

Consiste en un riel de acero, cuya función es asegurar la distribución de la tensión de 750Vcc a lo largo de las vías para suministrar energía a los trenes por medio de las zapatas frotadoras. El material de acero está rodeado de perfiles de aluminio a ambos lados para mejorar la conductividad. En la Figura 2.2 puede apreciarse el arreglo utilizado por el Metro de Caracas y el Metro Los Teques:

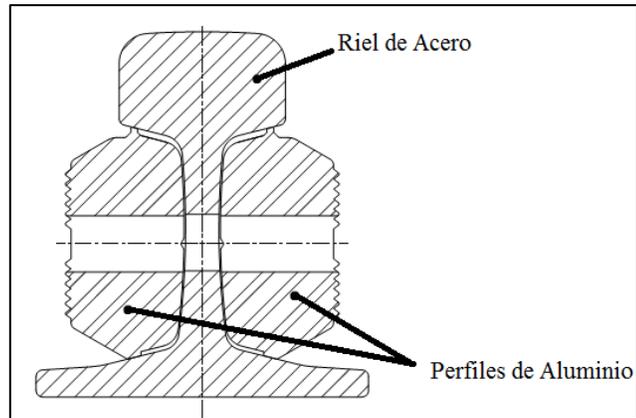


Figura 2.2: Riel de Contacto (3er Riel)

En el trabajo realizado se implementaron rieles de baja resistencia, cuyo valor es $7,07 \text{ m}\Omega/\text{km}$ a 40°C . Estos deberán soportar una intensidad de 4000 A nominales sin daño y una corriente de cortocircuito de 140 kA durante 1000 ms para un paso de soportes de 3,2 m máximo

3-WAY / 4-WAY:

Son barras de conexión a la cual llegan las arterias de 30kV para su posterior distribución. Disponen de dos partes:

- Parte Fija: Constituida por tres o cuatro conos de conexión para la fijación de conectores, tal como se aprecia en la Figura 2.3



Figura 2.3: Parte Fija 3-Ways

- Parte Móvil (Toma RTE): Parte por la cual es realizada la conexión de los cables con la barra. La misma se aprecia en la Figura 2.4:

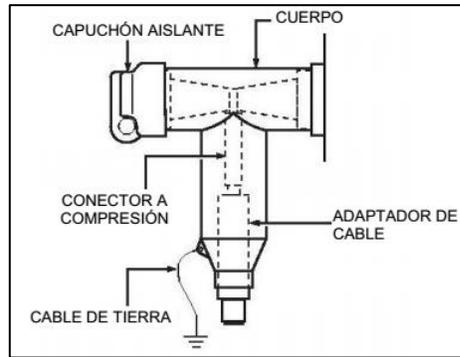


Figura 2.4: Parte móvil (Toma RTE) de 3-Ways / 4-Ways

Dependiendo de la utilización que se le dará al distribuidor se implementarán 3-Ways o 4-Ways. Si la estructura posee únicamente Centro de Distribución se usará un three-way (una entrada y dos salidas) como se puede observar en la Figura 2.5a. Si la estructura posee Centro de Distribución y Subestación de Tracción se usa un four-way (una entrada y tres salidas), tal como se observa en la Figura 2.5b.

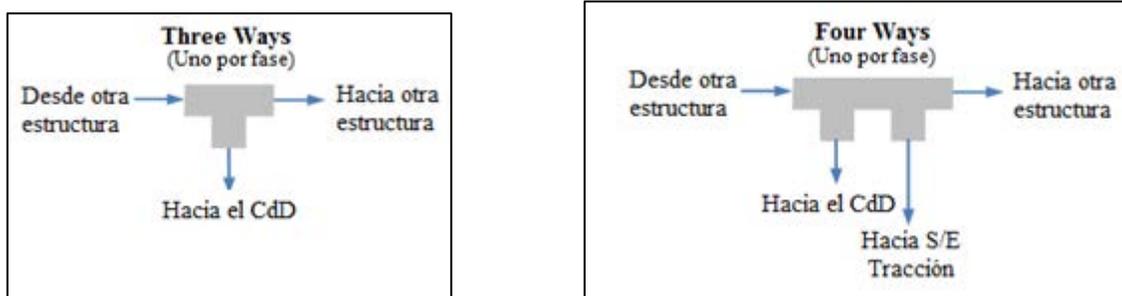


Figura 2.5: De izquierda a derecha a) Arreglo con 3-Ways ; b) Arreglo con 4-Ways

VIAS 1 y 2:

Cada estación posee dos vías, las cuales pueden identificarse por los nombres de Vía 1 y Vía 2. Vía 1 es aquella en la que el tren lleva como dirección el patio de guardado y mantenimiento de trenes más cercano. Vía 2 será la vía contraria a la anterior, es decir, aquella en la que la dirección del tren es tal que se aleja del patio de trenes más cercano.

2.2 Documentación

Debido a la gran cantidad de procesos y registros que surgen en un proyecto, se hace necesario para cada empresa llevar un control de cada uno de estos procesos; esto para poder mantener un

control para poder conocer de una manera precisa cada proceso, equipo o instalación a ser desarrollado u obtenido por la empresa. Es por ello que cada empresa posee un sistema de control de documentos, en su mayoría Bases de datos implementadas ya sea por medio de programas comerciales o herramientas propias de la empresa.

Estos sistemas de control de documentos deben proporcionar un mecanismo para la administración del desarrollo, emisión, aprobación, cambio, distribución, mantenimiento, uso, almacenamiento, seguridad y eliminación de documentos. [8]

Así mismo, en este sistema se establece un formato estandarizado y consistente para la codificación de todos estos documentos, tomando en cuenta las especificaciones del cliente. Esto para evitar incongruencias con documentos de subcontrataciones o documentos previos.

2.2.1 Base de datos interna

En este caso se utiliza una base de datos elaborada en el software Excel de Microsoft con el fin de registrar todos los documentos a ser entregados al cliente y que pertenezcan a la disciplina “Electrificación para la Tracción” cuyo código es TRA, así como todos aquellos documentos internos que sean generados para información.

Esta base de datos tiene como función mantener actualizado al equipo de la disciplina TRA acerca de los estatus actuales de los documentos técnicos que se hayan creado a lo largo del proyecto, es decir, la misma está programada para mostrar al usuario las versiones más actuales de los documentos a evaluar, de manera que no se trabaje con versiones desactualizadas y evitar así confusiones entre los distintos equipos de la empresa.

2.2.1.1 Identificación del estatus de documentos

Se incluye en la base de datos un sistema de identificación por colores, con el cual se puede saber de manera rápida el estatus de cada documento manejado por la disciplina TRA.

El proyecto de Línea 2 de Metro los Teques tiene varios años en curso, por lo que los procedimientos con respecto a la documentación están bien establecidos. Cada documento de este proyecto posee un color definido dentro de la base de datos:

- Documento Aprobado por la CAMLT
- Documento Aprobado con comentarios por la CAMLT
- Documento en Transición (Revisión CyP, CLL y/o CAMLT)
- Documento no Aprobado CyP, No Aprobado CLII o devuelto para resometer a CAMLT
- Documento no enviado, Retenido, No Aplica o Anulado

En la Figura 2.6 se muestra un ejemplo de cómo son mostrados los documentos en la base de datos, con sus respectivos colores:

	B	C	D	E	F	G	H	AH	AI	AJ
1	REFERENCIA							FOLIO	ESTATUS ACTUAL	
2									ESTATUS	
3										
4										
5										
77	MLT2	3.3	S400	TRA	000	49500	-		Transicion	B
82	MLT2	3.3	D400	TRA	000	48158	01		Aprobado	C
103	MLT2	0.0	M700	TRA	000	50083	-		No Aplica	A
123	MLT2	3.2	T100	TRA	IND	50937	-		Aprobado Con Comentarios	A
235	MLT2	3.2	D300	TRA	000	50023	01		Resometer	C
238	MLT2	3.2	D300	TRA	000	50086	-		No Sometido	A
847	MLT2	3.2	D400	TRA	IND	50043	01		No Aprobado CYP	B

Figura 2.6: Base de datos con estatus respectivos

En el caso del Proyecto de Línea 5 del Metro de Caracas se aplicará la misma codificación de colores, ya que tendrá un procedimiento de documentación análogo, con la diferencia que no habrá CLII. Alstom remite a CyP y este directamente enviará los documentos al Metro de Caracas.

El responsable de documentación debe enviar un reporte mensual de los documentos al cliente, en el cual se reflejarán características tales como estatus de los documentos, documentos listos para facturar y documentos enviados a obra.

2.2.2 Macros para ejecución de reportes

Los reportes mencionados en la sección anterior actualmente se realizan de forma manual; el encargado de documentación debe buscar los documentos cuyos estatus hayan cambiado en el mes y remitirlos a CyP.

Para el trabajo de pasantías se ha planteado aprovechar las características del programa donde fue construida la base de datos y crear una Macro para reportes, cuya función principal será buscar todos aquellos documentos cuyo estatus cambio en el mes para de esta manera optimizar el proceso de búsqueda.

El funcionamiento radica en colocar el periodo para el cual se requiere el reporte, para posteriormente presionar un botón que muestra los documentos con su respectivo estatus y el total de cada uno de estos.

En la Figura 2.7 se muestra un ejemplo de los resultados de la Macro realizada:

Reporte Mes					
Documentos					
N° Documentos		Revision	Emitidos Titulo	Fecha Envio	Estatus
				TOTAL	0
N° Documentos		Revision	Aprobados Titulo	Transmittal	Fecha Aprobacion
MCL5-3.3-S400-TRA-000-48000--A		A	Manual de Mantenimiento del Riel de Contacto (3er Riel)		28/05/2015
MCL5-3.3-S400-TRA-000-48001--A		A	Manual Colocación del Riel de Contacto (3er Riel)		28/05/2015
MCL5-3.0-M700-TRA-000-50000--A		A	Lista de Entregables Electrificación para Tracción		28/05/2015
MCL5-3.0-D400-TRA-000-50009--A		A	Edificación de documentos Electrificación para Tracción - Proyecto MCL5		28/05/2015
MCL5-3.0-D400-TRA-000-50011--C		C	ncional Sistema de Aislamiento Positivo - Negativo y Cola de Maniobra		10/06/2015
MCL5-3.0-D300-TRA-ZRE-50102--A		A	Especificación Técnica Tablero 750V Estación Interruptora		11/06/2015
MCL5-3.0-D300-TRA-ZRE-50107--A		A	palmas y Copas Terminales para Cables de 30 kV y Uniones Tubulares para E		28/05/2015
MCL5-3.0-D300-TRA-ZRE-50108--A		A	ción Técnica Caja de Conversión Rígido a Flexible para Feeder Positivo		28/05/2015
				TOTAL	8
N° Documentos		Revision	Acuerdo Técnico Titulo	Transmittal	Fecha Acuerdo
MCL5-3.0-D400-TRA-000-50007--A		A	ías Portacables y Accesorios de Montaje Especificaciones Técnicas		13/04/2015
MCL5-3.0-D400-TRA-000-50008--A		A	Instalación de Bandejas 30kV en los Tuneles		13/04/2015
				TOTAL	2
N° Documentos		Revision	Aprobado con Comentarios Titulo	Transmittal	Fecha Aprobacion
				TOTAL	0
N° Documentos		Revision	Resometer Titulo	Transmittal	Fecha Salida CCD
				TOTAL	0

Figura 2.7: Resultado Macro generación de Reporte

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1 Subestaciones principales 69/30 kV

La Subestación Principal 69/30 kV es la subestación que transforma los 69 kV provenientes del ente suplidor de energía a 30 kV. De esta red de 30 kV se alimentan todos los sistemas que conforman y dan servicio los sistemas ferroviarios de Caracas y Los Teques [9].

La ubicación de la Subestación Principal 69/30 kV es definida de acuerdo con los resultados de las simulaciones eléctricas.

Usualmente son implementados dos transformadores de potencia para estas S/E, cada uno capaz de suplir la totalidad de la carga. De esta forma se logra tener una capacidad firme adecuada ante la falla de uno de los dos transformadores.

De la misma forma, para cada transformador es necesario instalar un seccionador de potencia que permita realizar trabajos de mantenimiento con seguridad. Los mismos servirán de interfaz entre la acometida de CORPOELEC y los transformadores de potencia.

En algunas ocasiones se tienen ramales que son destinados a la alimentación de transformadores auxiliares. Estos proporcionan energía en BT a sistemas auxiliares de la S/E, tales como iluminación, alarmas u otros servicios.

En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de la configuración básica de una S/E 69/30 kV

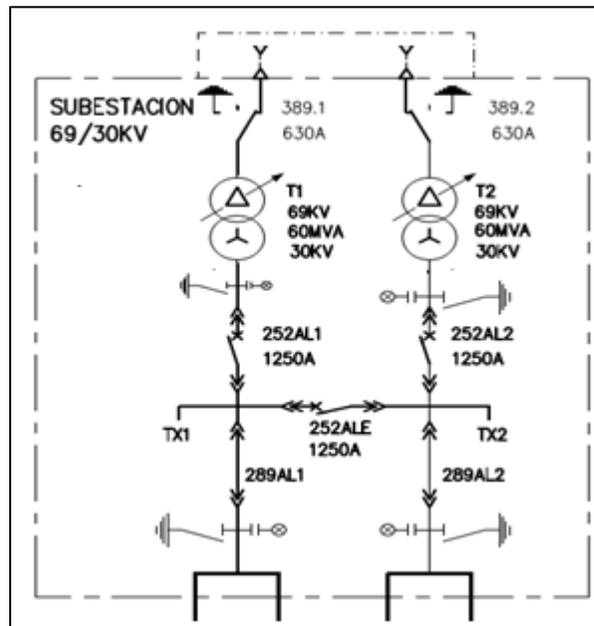


Figura 3.1: Diagrama unifilar S/E 69/30 kV

Las S/E's 69/30 kV no deben conectarse al sistema en paralelo con otras S/E's, por lo que existen mecanismos de seccionamiento que se coordinan entre sí para evitar este tipo de conexión.

3.2 Requerimientos de Obra Civil en subestaciones 69/30 kV

Las Subestaciones Principales 69/30 kV deberán en todos los casos, estar localizadas al mismo nivel de la calle o de la vialidad, ello derivado a que en este ambiente se instalarán los equipos más pesados de todo el sistema y de mayor volumen [10].

La Subestación Principal 69/30 kV debe tener un área de 680 m² y una altura mínima libre de 4,50 m, libre de columnas internas con una configuración de preferencia regular (cuadrada o rectangular). Estas dimensiones se adecúan a la cantidad y distribución de equipos a instalar, sus dimensiones propias, la apertura de sus puertas de acceso, la circulación del personal en este ambiente y las rutas de bandejas que sirven para realizar los cableados de estos equipos [10].

Usualmente las S/E principales 69/30 kV se conforman de tres ambientes:

- Cuarto de equipos
- Sotano de S/E
- Patio de Transformadores

3.2.1 Cuarto de Equipos

A continuación se precisan los requerimientos para este ambiente:

El piso debe tener una resistencia acorde con el peso de los equipos, de un espesor mínimo de 25 cm que permita la fijación de los equipos nivelado con una pendiente del 0%. En él se deberán considerar los recesos o huecos que permitan el paso de los conductores provenientes del sótano de cableado [10].

Las paredes del local de la Subestación Principal 69/30 kV deben ser de concreto que garanticen una resistencia al fuego de 3 horas como mínimo, disponer de las aberturas necesarias para el paso de bandejas portacables y/o canalizaciones, donde prevalecerán aquellas pertenecientes a la red de 30 kV y las asociadas a la línea [10].

Si el nivel equipos se encuentra localizado a nivel calle o superficie, deberán incorporarse dos puertas tipo arrollables enfrentadas a la posición que tendrán los transformadores. Estas puertas tendrán dimensiones de 4 m de ancho x 3 m de alto para que permitan el ingreso de los equipos al ambiente [10].

Adicionalmente el ambiente o cuarto debe prever dos puertas doble hoja, opuestas una de la otra con apertura hacia el exterior, de dimensiones mínimas de 1,80 m de ancho x 2,40 m de alto, con romanillas que permitan la ventilación natural del ambiente y contar con cerraduras anti pánico [10].

Este ambiente debe estar hermético ya que estará protegido por gas inergen. Se debe contemplar un pequeño cuarto contiguo para los cilindros del gas inergen [10].

3.2.2 Sótano de cableado

La Subestación Principal 69/30 kV deberá contar con un sótano de cableado localizado debajo del ambiente de equipos de un área igual al de la propia subestación y una altura libre de 2,50 m. En este sótano se instalarán las bandejas y demás canalizaciones que permitan la distribución de conductores y la interconexión entre los equipos propios de dicha Subestación Eléctrica [10].

Este lugar debe estar dotado de puertas doble hojas con romanillas y la comunicación con el ambiente de los equipos se efectuará por medio de una escalera preferiblemente fuera del ambiente [10].

Todos los elementos metálicos deberán contar con su respectiva puesta a tierra por medio de las EPT correspondientes.

3.2.3 Patio de transformación (Solo en S/E 69/30 kV)

Este patio tiene la función de ubicar los transformadores que reciben la acometida eléctrica del sistema de suministro local, en este caso de 69kV, para reducir la tensión a 30kV e ingresarla al sistema Metro.

La dimensión mínima de la superficie para este patio debe de ser de 480 m², en una configuración preferiblemente regular (cuadrada o rectangular) [10].

El piso debe de tener una resistencia acorde con el peso de los equipos, de un espesor mínimo de 25 cm que permita la fijación de los equipos nivelado con una pendiente del 0%. En él quedarán embebidas las canalizaciones necesarias para conducir los conductores que llegan y salen de los transformadores, así como los rieles de rodamiento que sirven como guía para el transporte de los transformadores y en dicho piso también deberán empotrarse los puntos de sirga suficientes para el halado de los transformadores [10].

Las paredes serán análogas a las de cuarto de equipos.

Entre los dos transformadores deberá existir un muro diseñado para resistir la posible explosión de uno de los transformadores y resguardar el otro de las consecuencias de la misma [10].

Deberán incorporarse puertas tipo corredizas enfrentadas a la posición que tendrán los transformadores. Estas puertas tendrán dimensiones de 7,00 m de ancho x 5,50 m de alto para que permitan el ingreso de los equipos al ambiente [10].

3.3 Descripción de circuitos

Parte del trabajo de pasantía consistió en el estudio de algunos de los circuitos a implementar en Línea 5 del Metro de Caracas y en Línea 2 del Metro Los Teques, específicamente para los circuitos de 30 kV y 750 Vcc. A continuación se darán a conocer los detalles metodológicos para dicho estudio.

3.2.1 Circuitos 30 kV

Los circuitos 30 kV son aquellos provenientes de las S/E's reductoras 69/30 kV. Estos circuitos son empleados para la alimentación de las S/E's de tracción y CDP's a través de un anillo que recorre todo el sistema a lo largo de los mismos túneles empleados para el transporte de los usuarios de una estación a otra.

La distribución de los circuitos de 30 kV se da por medio de 3-Ways o 4-Ways, localizados en las mismas estaciones de pasajeros.

Cables utilizados

Para esta clase de circuitos es posible la utilización de dos (2) tipos de cables:

- Calibre 500 MCM
- Calibre 4/0 AWG

Su utilización depende de la longitud del circuito (caída de tensión) y de la intensidad de corriente que circulará por dicho circuito. A continuación se describen algunos parámetros

Parámetros de cables

De acuerdo a los datos amperimétricos dados en la especificación técnica de cables de 30 kV de 500 MCM se tienen los siguientes datos: [12]

Capacidad amperimétrica por canalización:

Instalados en canaleta.....	463 A
Instalados en bandeja	612 A
Instalados en ducto de 4 pulgadas.....	379 A

(a 95 cm de profundidad)

Parámetros eléctricos:

Resistencia máxima en corriente continua a 20°C.....	0,07159 ohm/km
Resistencia máxima en corriente alterna a 90°C.....	0,09379 ohm/km
Capacidad.....	0,23 μ F/km
Impedancia a 60 Hz y 90°C.....	0,14 ohm/km

De acuerdo a los datos amperimétricos dados en la especificación técnica de cables de 30 kV de 4/0 se tienen los siguientes datos: [12]

Capacidad amperimétrica por canalización:

Instalados en canaleta.....	285 A
Instalados en bandeja	360 A
Instalados en ducto de 4 pulgadas.....	239 A

(a 95 cm de profundidad)

Parámetros eléctricos:

Resistencia máxima en corriente continua a 20°C.....	0,1670 ohm/km
Resistencia máxima en corriente alterna a 90°C.....	0,2167 ohm/km

Capacidad.....	0,18 μ F/km
Impedancia a 60 Hz y 90°C.....	0,23 ohm/km

Para más información ver Anexo A.2

Tipos de Canalización

Los conductores podrán ser instalados en tres diferentes tipos de canalización: canaletas de concreto, bandejas metálicas o ductos. Para cada una de ellas se tiene una capacidad amperimétrica distinta debido a que cambia el modo de enfriamiento.

En base a las especificaciones del cliente, las canaletas de concreto serán usadas para instalaciones exteriores, mientras que las bandejas portacables serán empleadas para instalaciones interiores.

En el trabajo de pasantía solo fue planteado el uso de canaletas de concreto y bandejas portacables como medios de soporte para los circuitos de 30 kV. A continuación se describen algunos parámetros.

Parámetros de bandejas portacables

Tipo Escalera: Son estructuras prefabricadas de metal que consisten en dos barras laterales longitudinales unidas por miembros transversales individuales separados una distancia determinada entre ellos. [11]

Son utilizadas para los circuitos de 30kV. Su ubicación es principalmente dentro de los túneles y trincheras, y sus dimensiones son 160mm de ancho por 85mm de alto.

Para bandeja escalera en túnel se puede instalar un soporte cada 2.8 m.

En la Figura 3.2 se muestra un tramo de bandeja tipo escalera:



Figura 3.2: Bandeja tipo escalera

3.2.2 Circuitos 750 Vcc

Los circuitos 750 Vcc son aquellos destinados a alimentar el riel de contacto, así como también realizar las conexiones pertinentes a la estación interruptora y otros mecanismos de seccionamiento presentes en el tramo. A continuación se describirá la funcionalidad de tales mecanismos, tanto en la estación interruptora en Zona Rental, como en la cola de maniobra en Bello Monte.

3.2.2.1 Aislamiento Positivo

El objetivo es garantizar la continuidad de operación en las dos vías de la estación Zona Rental ante alguna falla en el tramo Zona Rental – Bello Monte, y permitir la seguridad durante trabajos de mantenimiento en dicho tramo. Esto se realiza mediante la estación interruptora y los disyuntores de seccionamiento (B11, B12 para vías 1 y 2) y disyuntores de seccionamiento de tramo (B13, B14 para vías 1 y 2 respectivamente).

Constitución Física de disyuntores

Los disyuntores estarán ubicados en celdas individuales. Estos estarán provistos de dispositivos de desconexión, tanto de potencia como de control, lo cual permite que el disyuntor sea una unidad extraíble. [10]

El diseño del compartimiento permitirá que el disyuntor tenga tres posiciones:

- Conectado
- Prueba
- Extraído

En la posición “prueba”, los disyuntores de 750 Vcc podrán ser maniobrados eléctricamente, desde el teclado del visualizador del operador numérico ubicado directamente en la parte frontal de estos o sobre la puerta del compartimiento cuando ésta exista.

En la posición “conectado”, los disyuntores de 750 Vcc podrán ser maniobrados eléctricamente, desde el teclado del visualizador del operador numérico, desde un conmutador ubicado en el tablero de control y mando de la Subestación de Tracción o desde el centro de control de operaciones (CCO).

La posición “Extraído” servirá para mantenimientos en el tramo seccionado.

Los disyuntores de 750 Vcc tendrán las siguientes características:

- Tensión nominal 750 Vcc
- Tensión de aislamiento 1000 Vcc
- Tensión transitoria de corte < 2500 V
- Tensión de prueba a frecuencia industrial 7000 V

La velocidad de apertura de los disyuntores es proporcional a la rata de crecimiento de la corriente. El disyuntor será capaz de interrumpir las corrientes de cortocircuito antes de que esta alcance su valor máximo.

3.2.2.2 Aislamiento Negativo

Consiste en la interrupción de la continuidad en los rieles de rodamiento, esto para evitar que sobretensiones riel / suelo provenientes de la Línea 4 pasen hacia Línea 5 mientras se realizan

trabajos de mantenimiento en la vía. Esto se logra mediante el seccionamiento de un tramo de longitud mayor a la de un tren con el fin de lograr dos objetivos:

- Garantizar la seguridad en la vía en caso de que se produzca un puente sobre las juntas aislantes.
- Permitir que un tren pueda ser estacionado en la zona neutra durante el horario de construcción.

Los seccionadores también se encargarán de conectar a los rieles de rodamiento a tierra una vez que hayan abierto los disyuntores principales aguas arriba en el sistema de tracción.

3.2.2.3 Aislamiento Cola de Maniobra

La continuidad del tercer riel en la Cola de Maniobra es interrumpida por medio de un corte no puentable, donde la sección final del tramo de riel se alimenta desde uno de los polos de un contactor bipolar.

La continuidad de los rieles de rodamiento es interrumpida por medio del segundo polo del contactor antes mencionado, al tiempo que los mismos serán conectados a tierra por medio de un seccionador al aire, análogos a los utilizados en el aislamiento negativo de la estación interruptora.

El contactor estará cerrado al encontrarse energizado y abrirá bajo alguna de estos dos comandos:

- Mediante mando local sobre el tablero de control del contactor
- Disparo por hilo piloto del disyuntor B11 de la estación interruptora

Cables Utilizados en circuitos 750 VCC

Es posible la utilización de dos (2) tipos de cables:

- Calibre 750 MCM
- Calibre 500 MCM

Análogo al caso anterior, el tipo de cable a utilizar dependerá de la caída de tensión y de la intensidad de corriente que circulará por los circuitos, o bien por selección del cliente, ante lo cual deberá verificarse que el conductor seleccionado sea adecuado. A continuación algunos parámetros físicos.

Parámetros de cables

De acuerdo a los datos amperimétricos dados en la especificación técnica de cables de 5 kV de 750 MCM se tienen los siguientes datos: [13]

Capacidad amperimétrica por canalización:

Instalados en canaleta.....	561 A
Instalados en bandeja	657 A
Instalados en ducto de 4 pulgadas.....	560 A
(a 95 cm de profundidad)	

Parámetros eléctricos:

Resistencia máxima en corriente continua a 20°C.....0,04630 ohm/km

De acuerdo a los datos amperimétricos dados en la especificación técnica de cables de 5 kV de 500 MCM se tienen los siguientes datos: [13]

Capacidad amperimétrica por canalización:

Instalados en canaleta.....	433 A
Instalados en bandeja	507 A

Instalados en ducto de 4 pulgadas..... 435 A
(a 95 cm de profundidad)

Parámetros eléctricos:

Resistencia máxima en corriente continua a 20°C..... 0,0721 ohm/km

Para más información ver Anexo A.1

Tipo de Canalización

En el trabajo de pasantía solo fue planteado el uso de bandejas portacables como medios de soporte para los circuitos de 750 Vcc, dado que los mismos serán empleados para la conexión entre equipos en el interior de las estaciones. A continuación se presentan algunos parámetros

Bandejas portacables

Tipo Fondo Ranurado: Son estructuras prefabricadas que consisten en dos barras laterales longitudinales que sostienen un fondo ranurado, con suficientes orificios para el pasaje del aire y con una ocupación de no más de 60% por parte de los cables.

Estas son utilizadas para los siguientes circuitos [11]:

- Circuitos para cables de 750Vcc, dentro de las subestaciones interruptoras, subestaciones eléctricas, galerías técnicas, cuartos de mantenimiento, estaciones de pasajeros y en la vía.
- Circuitos para cables auxiliares y control y mando

Las dimensiones de las bandejas ranuradas dependen del número de conductores a soportar y del espacio disponible para la instalación. En general se tienen tres tipos de bandejas ranuradas:

- 171mm de largo x 72mm de alto
- 316mm de largo x 72mm de alto
- 532mm de largo x 72mm de alto

En la Figura 3.3 se muestra un tramo de bandeja tipo ranurada:



Figura 3.3: Bandeja tipo ranurada

3.4 Normas Aplicables

- Las tablas correspondientes a cada calibre de los cables fueron calculadas bajo la norma IEC 60287.
- Las bandejas deberán ser fabricadas de acuerdo a la norma NEMA-VE1.
- Los disyuntores de aislamiento positivo serán fabricados de acuerdo a las normas EN 50123-2, EN50123-6 y IEC 60529.
- Los seccionadores de potencia estarán fabricados de acuerdo a la norma CEI 62271-102.
- Los transformadores de Potencia estarán inmersos en aceite mineral, tipo intemperie y fabricados de acuerdo a la norma IEC 60076.
- El aceite de los transformadores debe cumplir con la norma IEC296.
- El aislamiento de los transformadores de potencia deberá ser hecha de acuerdo a las tablas estandarizadas IEC para el nivel de aislamiento.

3.5 Dimensionamiento de transformadores de Potencia

El dimensionamiento de los transformadores depende tanto del nivel de tensión como de la carga que manejarán, siendo este último factor el que establece la potencia que deberá suplir el equipo.

En primer lugar se deben establecer todas las cargas para obtener la totalidad de las mismas. Con este valor es posible establecer un valor nominal para los transformadores, tomando en cuenta que se debe dejar un factor de seguridad.

Como bien se ha indicado en la sección 3.1 la S/E principal tendrá dos transformadores de potencia, con la premisa de que cada uno de ellos sea capaz de suplir la totalidad de la demanda en caso de que el otro presente fallas. En operación normal ambos transformadores se repartirán la carga.

3.6 Dimensionamiento de seccionadores de potencia

Aparte de la norma especificada en la sección 3.4 el dimensionamiento de seccionadores de potencia dependerá del nivel de cortocircuito de la acometida asociada. Los seccionadores deberán ser capaces de soportar las posibles corrientes de falla que pudieran circular por ellos en caso de una eventualidad.

Asimismo, se deben tomar en cuenta las distancias de seguridad con los objetos circundantes dentro de la S/E tales como cercas o pararrayos.

3.7 Calculo de Caída de Tensión

Para hacer la selección de conductores fue necesario realizar el estudio de caída de tensión en los circuitos a ser instalados, y la verificación de que estos no superen la caída de tensión establecida por las normas. El cálculo de caída de tensión dependerá de si se trabaja con tensión alterna o continua. A continuación se presentan las expresiones utilizadas para la comprobación de la caída de tensión:

Para la verificación en circuitos AC se utilizará la siguiente expresión.

$$\% \Delta V_{3\phi} = \frac{kVA_{3\phi}}{10kV_{LL}^2} (r \cdot LONG \cdot \cos \varphi + x \cdot LONG \cdot \sin \varphi) \quad (3.1)$$

Donde r es la resistencia del cable por unidad de longitud, x la impedancia del cable por unidad de longitud y φ el valor del factor de potencia; para esta ecuación los valores de potencia y voltaje deben escribirse en kVA y en kV respectivamente.

Para circuitos DC se utilizará la siguiente expresión:

$$\% \Delta V = 100 - \frac{V_{nom} - r \cdot LONG \cdot I_{nom}}{V_{nom}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

3.8 Verificación de Ampacidad

El segundo criterio a tomar en cuenta para la selección de conductores es la verificación de la capacidad de corriente. Todos los conductores a ser instalados deben soportar las corrientes nominales que circularán por ellos durante la operación normal. Para ello es necesario revisar los datos nominales de cada conductor y seleccionar el mínimo calibre que cumpla con las condiciones de corriente.

3.8.1 Circuitos 30 kV

Recordando lo especificado antes, los circuitos 30 kV parten desde los transformadores ubicados en las S/E 69/30 kV. Para conocer la corriente nominal de estos circuitos se utilizarán los datos nominales de los transformadores.

La corriente nominal de los transformadores puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (3.3)$$

De acuerdo al diagrama unifilar (Figura 3.1) cada transformador se divide en dos circuitos, por lo que la corriente en cada uno será:

$$I_{via} = \frac{I}{2} \quad (3.4)$$

Donde *I_{via}* es la corriente máxima que irá por cada circuito de 30 kV de una estación a la otra. De acuerdo a la expresión 3.1 la corriente de cada circuito de 30 kV dependerá de la potencia del transformador en la S/E 69/30 kV que se encuentre alimentando.

3.8.2 Circuitos 750 Vcc

En este caso la verificación de ampacidad puede realizarse comparando con el riel de contacto. Los cables 750 Vcc conectarán los equipos con el tercer riel, por lo que deberán ser capaces de soportar la misma intensidad de corriente que este último.

CAPÍTULO 4

INGENIERIA BASICA PARA PROVISIONALIDAD BELLO MONTE

4.1 Descripción del Proyecto

Para este año se tiene previsto la inauguración del primer tramo de la Línea 5 del Metro de Caracas, específicamente el tramo entre la estación Zona Rental y la futura estación Bello Monte. Sin embargo, el proyecto se encuentra aún en una fase importante de construcción.

Debido a la alta existencia de usuarios provenientes de Bello Monte y zonas aledañas se ha planteado la inauguración parcial del tramo y de la futura estación Bello Monte, y permitir el traslado de los usuarios desde Zona Rental hasta Bello Monte. Esto se ha denominado como el Proyecto de Provisionalidad Bello Monte, en el cual se establece la finalización y entrega para finales del año 2015 de una sola vía (ida y vuelta), y la inauguración parcial de la Estación Bello Monte.

En cuanto al papel del Grupo de Electrificación para la Tracción en la Provisionalidad, este se encargará de la instalación de la alimentación en 30kV desde la estación Zona Rental hasta el Centro de Distribución de la futura estación Bello Monte. Cabe destacar que este Centro de Distribución será provisional, puesto que posteriormente los circuitos serán movidos a su ubicación definitiva.

Electrificación para la Tracción también se encargará de la instalación del Tercer Riel y de las estaciones interruptoras para aislamiento positivo y negativo, para lo cual deberá especificarse los equipos (disyuntores, tableros, seccionadores, entre otros) para su adecuado funcionamiento.

4.2 Estación Zona Rental

Está ubicada en la Av. Las Palmas con cruce con la Gran Avenida, a pocos metros de Plaza Venezuela en Sector Zona Rental.

Posee tres niveles, nivel calle, nivel mezzanina y nivel Andén, donde los dos últimos poseen otros cuartos con funciones específicas, entre los cuales pueden encontrarse la subestación de tracción y el sótano de equipos ubicados en cada uno de los últimos dos ambientes respectivamente. La funcionalidad de tales ambientes se explica en la sección 3.2

Es desde esta estación que se tomará la energía provisional para la alimentación de todo el tramo de riel de contacto hasta la estación Bello Monte. También, desde la estación Zona Rental, saldrá la alimentación de 30 kV que alimentará los servicios de la estación Bello Monte.

Cabe destacar que todos los trabajos planteados para la pasantía estarán ubicados en el nivel Andén de la estación, haciendo uso de espacios determinados dentro de este ambiente.

En la Figura 4.1 se muestra una vista en planta del nivel andén de la estación Zona Rental, donde pueden observarse las principales áreas a tomar en cuenta en la estación Zona Rental para la provisionalidad. En primer lugar se tiene el Sótano de la S/E (para funcionalidad ver sección 3.2.2), desde el cual saldrán los circuitos de 30 kV hacia Bello Monte y donde serán instalados los disyuntores para el aislamiento positivo (para funcionalidad ver sección 3.2.2.1). El área de circulación de trenes será utilizado para el recorrido de los circuitos; mientras que el espacio indicado al final de andén es el propuesto para los seccionadores de aislamiento negativo (para funcionalidad ver sección 3.2.2.2).

Tanto la S/E de tracción como el sótano de esta son subterráneos, por lo que los equipos no requieren medidas contra la interperie.

A continuación se explicará cada uno de los circuitos trabajados durante la pasantía en la estación Zona Rental.

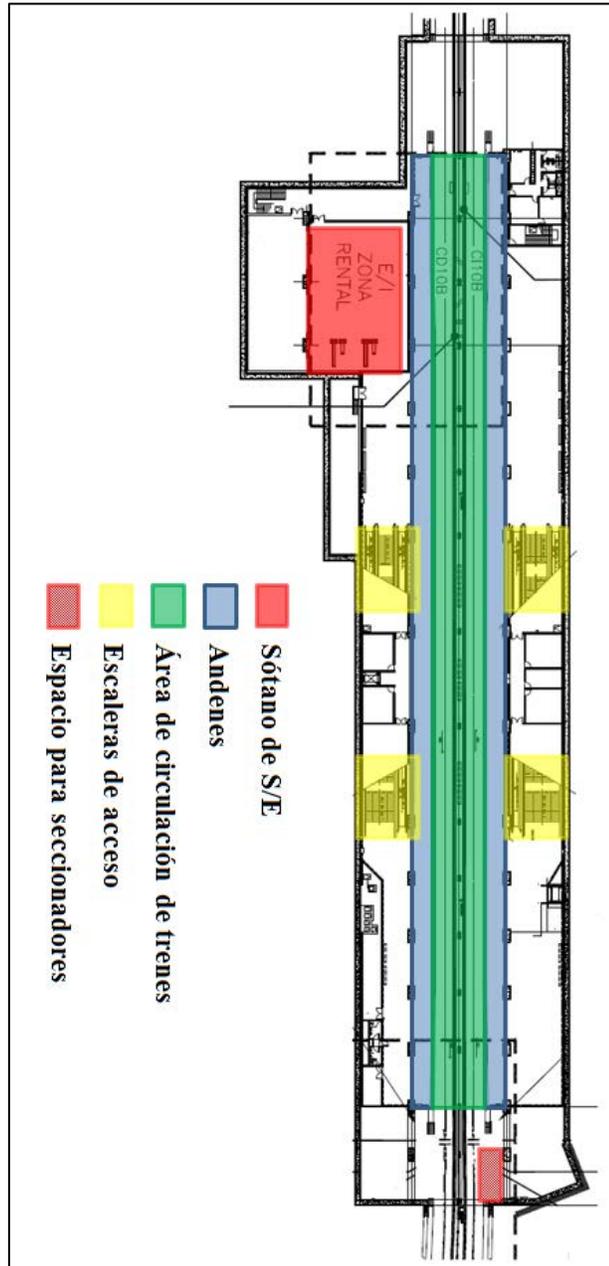


Figura 4.1: Nivel Anden Estación Zona Rental

4.2.1 Circuitos 30 kV

Tal como se explicó en la sección 3.2.1, todas las S/E's de tracción son alimentadas con 30 kV provenientes de las S/E's principales. Esto es posible gracias a la interconexión entre S/E's por medio del circuito 30 kV, el cual conecta una S/E con otra por medio de los mismos túneles utilizados para la circulación de trenes. Debido a esto, el circuito 30 kV tendrá una longitud cercana a la de los túneles, aproximadamente 1,5 km.

4.2.1.1 Diagrama Unifilar de recorrido 30 kV

Al realizar la construcción de la estación Zona Rental ya se tenía provista la continuación de la línea hacia Bello Monte, por lo que se dejaron 4-Ways con salidas de reserva para dicha línea nueva, tal como se observa en el diagrama unifilar mostrado en la Figura 4.2, que representa la configuración actual de la estación Zona Rental.

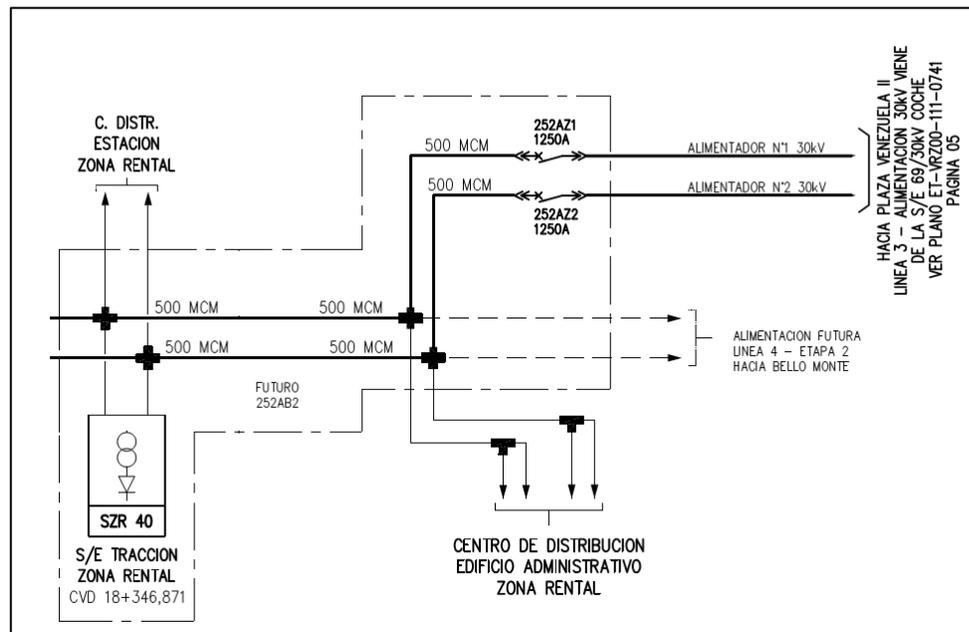


Figura 4.2: Diagrama Unifilar Estación Zona Rental

Es importante destacar que para la provisionalidad solo se ha propuesto la instalación del circuito para la vía 1, siendo el circuito de la vía 2 parte de los trabajos definitivos posteriores a la provisionalidad. Esto da lugar a un solo circuito trifásico.

4.2.1.2 Recorrido Preliminar

El 4-Way de vía 1 con la salida en reserva está ubicado en el Sótano de la S/E. Desde allí saldrá el circuito de 30 kV hacia Bello Monte, tal como se estableció en la sección 4.1

En la Figura 4.3 pueden observarse dos fases del 4-Way destinado a la distribución de los circuitos 30 kV desde la estación Zona Rental hasta la Estación Bello Monte. Dado que el circuito es trifásico son tres cables los que deberán dirigirse hacia Bello Monte (Ver sección 4.2.1.3).

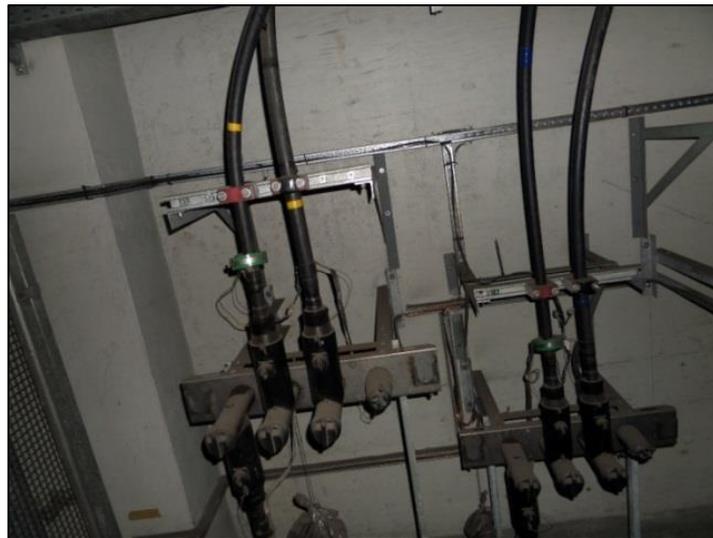


Figura 4.3: 2 fases del 4-Way de vía 1 en Sótano de S/E

Tal como se especificó antes, el área de circulación de los trenes es también utilizado para el paso de los circuitos de una estación a otra, tomando en cuenta que se debe dejar espacio para la circulación de los vehículos; por lo que se requiere que los circuitos 30 kV, provenientes desde estaciones anteriores a Zona Rental, y cuya acometida son los 4-Ways en el sótano de la S/E, pasen hacia el área del andén para luego poder dirigirse hacia la estación Bello Monte.

En la Figura 4.4 se muestra el recorrido planteado para los circuitos 30 kV desde el sótano de la S/E hasta la vía de los trenes. En esta figura se muestra tanto el circuito a ser instalado en la provisionalidad (vía 1) como el circuito a ser instalado posterior a la provisionalidad (Vía 2).

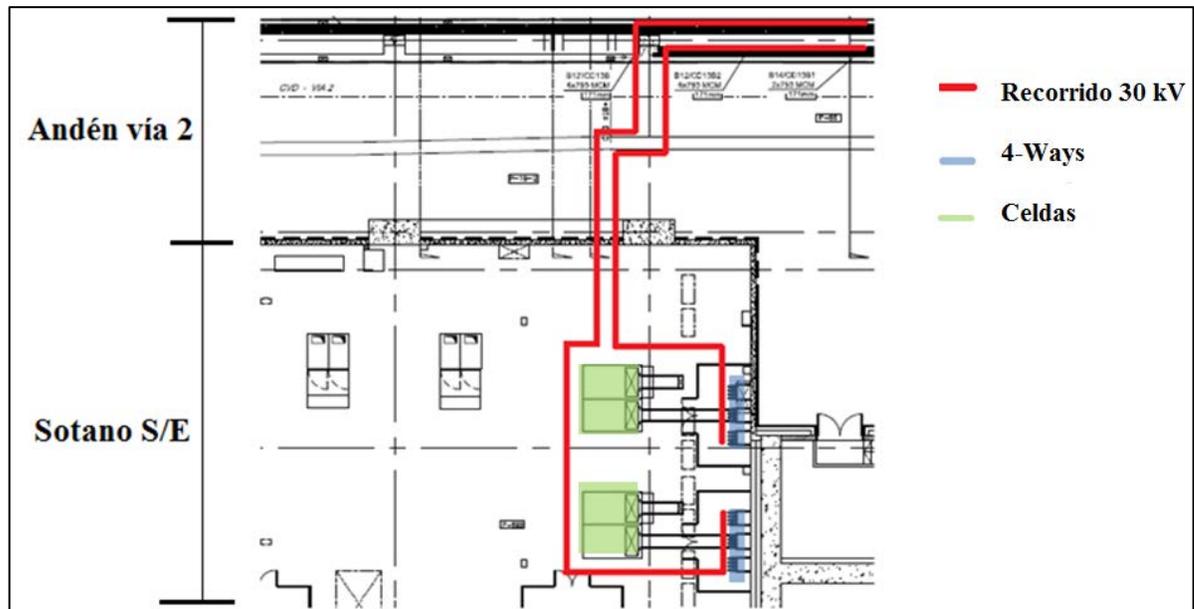


Figura 4.4: Recorrido 30 kV Estación Zona Rental

De la Figura 4.1 puede observarse que el Sótano de la S/E está separado del andén por medio de una pared, para lo cual se requieren reservaciones civiles que permitan el paso del cableado. De la misma forma se observa que en frente de los 4-Ways hay celdas presentes que se deben rodear siguiendo las distancias de seguridad entre circuitos de 30 kV y equipos cercanos.

Una vez que los cables lleguen a la zona de tránsito de los trenes serán dirigidos hacia la estación Bello Monte a través de los túneles.

4.2.1.3 Conductores

Los conductores a utilizar para los circuitos 30 kV fueron establecidos por el cliente, por lo cual el trabajo de pasantía consistió en la verificación de la correcta utilización de dichos conductores.

Los cables especificados por el cliente para utilizar en los circuitos 30 kV son los de 500 MCM. Estos fueron escogidos de acuerdo a resultados arrojados por softwares de simulación mostrados al cliente previo al comienzo del trabajo de pasantía.

4.2.1.4 Bandejas Portacables

Siguiendo lo establecido en la sección 3.2.1 se emplearon bandejas tipo escalera para los circuitos 30 kV. Las bandejas tienen las mismas características descritas en dicha sección.

Los cables fueron colocados en las bandejas en configuración triangular, con el eje de la configuración alineado con el centro de la bandeja. Con esto se dejan 3,5 mm de lado y lado dentro de la bandeja.

Las bandejas fueron instaladas a 3,65 m del suelo del nivel andén, esto para aprovechar la altura a la que fueron hechas las reservaciones civiles explicadas en la sección 4.2.1.5.

Al llegar al andén las bandejas se colocaron a lo largo de las vías del tren, dispuestas a 50 cm por encima del techo de los trenes.

4.2.1.5 Reservaciones civiles

Tal como puede apreciarse en la Figura 4.4, fueron necesarias dos aberturas para el paso de las bandejas de 30 kV hacia el área del andén. Se plantearon dos aberturas de 8 pulgadas (20,32 cm) de diámetro para permitir el paso de las bandejas tipo escalera. Estas aberturas fueron abiertas a una altura de 3,65 m del suelo del andén, pues la pared del andén está recubierta con láminas estratificadas para decoración hasta 3 m de altura.

4.2.2 Circuitos 750 Vcc

Como se explicó en la sección 3.2.2, los circuitos 750 Vcc serán empleados para las conexiones de la estación interruptora en Zona Rental. A continuación se detallarán los resultados de los trabajos realizados.

4.2.2.1 Aislamiento Positivo

4.2.2.1.1 Descripción Unifilar Aislamiento Positivo

En la Figura 4.5 se puede apreciar el diagrama unifilar del aislamiento positivo:

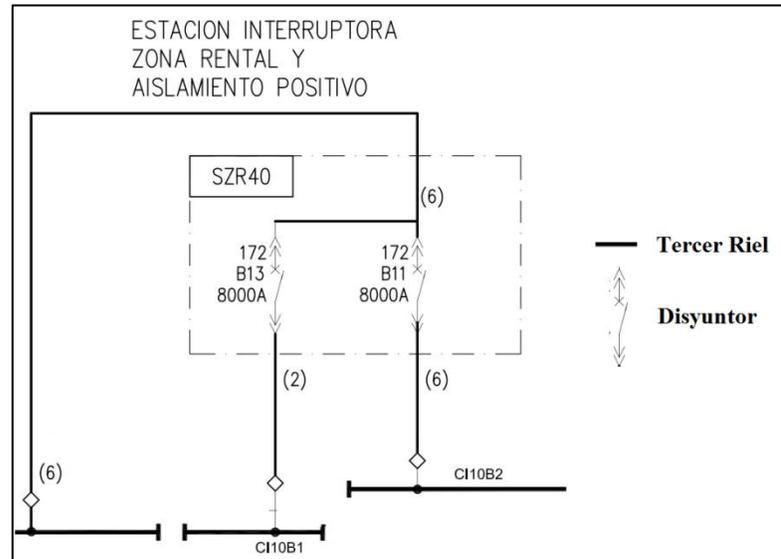


Figura 4.5: Diagrama Unifilar Aislamiento Positivo

La figura muestra a los disyuntores B13 y B11 y su conexión con los tramos Anden Zona Rental, Zona Rental – Bello Monte y el cupón de protección (Tramo central). También puede apreciarse el número de cables que fue utilizado en las conexiones, lo cual será explicado con mayor detalle en la sección 4.2.2.1.3.

Tal como se muestra en la Figura 4.5, para la provisionalidad serán implantados solo los disyuntores B11 y B13 (Disyuntor de seccionamiento y Disyuntor de seccionamiento de tramo respectivamente). Los disyuntores B12 y B14 (vía 2) están planteados para los trabajos definitivos.

4.2.2.1.2 Recorrido Preliminar

Los disyuntores fueron colocados en el sótano de la S/E de tracción, en una ubicación cercana a la pared que limita con el andén.

En la Figura 4.6 se muestra el espacio en el que fueron instalados los disyuntores de seccionamiento positivo.



Figura 4.6: Espacio destinado a disyuntores de Aislamiento Positivo

La pared que deben atravesar los cables de 750 Vcc es la que se observa a la derecha en la Figura 4.6. Al igual que los cables de 30 kV, los cables de 750 MCM que conectan a los equipos de interrupción positiva con el tercer riel serán suspendidos a 3,65 m del suelo, tanto del sótano de la S/E como del andén.

En la Figura 4.7 se muestra el recorrido planteado para los circuitos de 750 VCC para la interrupción del circuito positivo, desde los disyuntores ubicados en el sótano de la S/E hasta la vía del tren.

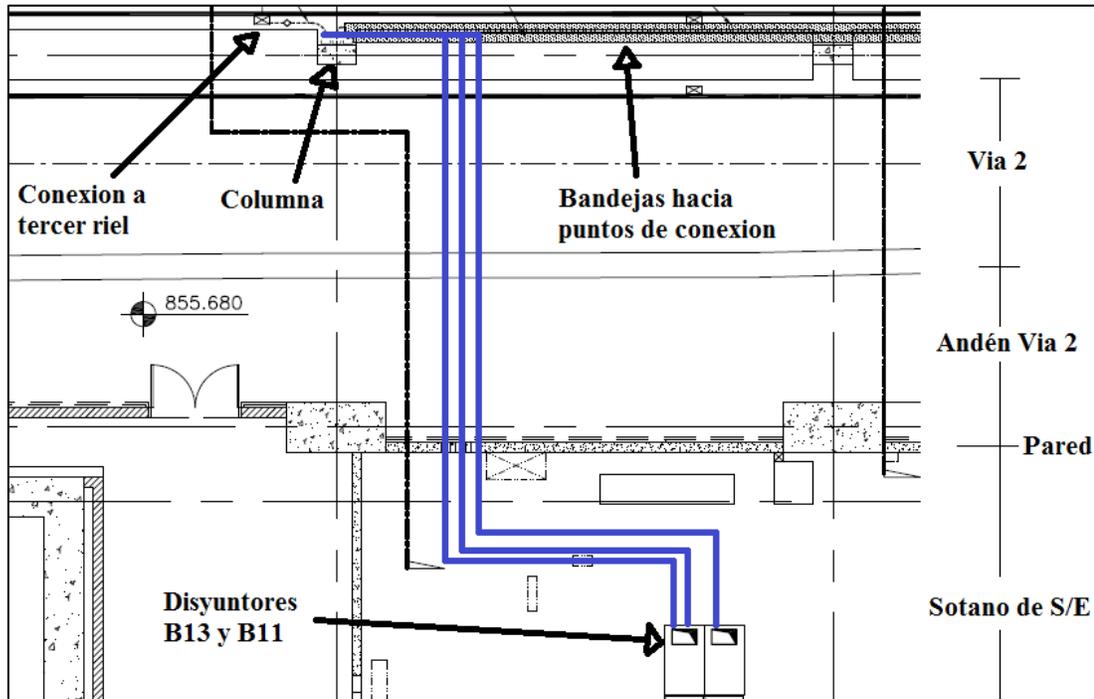


Figura 4.7: Recorrido circuitos 750 VCC

Tal como se observa en la Figura 4.7, las bandejas van desde la pared del sótano de la S/E hasta la columna mostrada en la figura. Desde allí los cables serán bajados hasta el suelo de la vía 1 desde donde partirán hacia los tres puntos de conexión mostrados en el unifilar de la Figura 4.5. El primero de ellos puede observarse en la Figura 4.7 indicado como “Conexión al tercer riel”.

Para dirigir los cables hacia los otros dos puntos de conexión al tercer riel se planteó colocar los cables detrás del riel de contacto de la vía 1. De esta forma se facilita la instalación de los mismos, así como también se hace uso eficiente del espacio detrás del riel de contacto. Las bandejas previstas para el recorrido de los cables hacia los otros dos puntos de conexión se muestran en la Figura 4.7.

4.2.2.1.3 Conductores

Los conductores elegidos para conectar los disyuntores con el tercer riel son, en la práctica, una prolongación de este último. Por ende, estos deben de soportar las mismas intensidades nominales que soportará el tercer riel.

De acuerdo a los datos nominales de los trenes de Línea 4 (Ver Anexo B.1) la máxima corriente que pueden consumir los trenes es de 6894,1 A, la cual se obtiene a una velocidad promedio de 39 km/h. Sin embargo, dada la longitud del tramo (Ver sección 4.2.1) y tomando en cuenta que el tiempo promedio entre una estación y la otra será de 4,5 minutos, se puede asumir que el tren no superará los 20 km/h, lo que es análogo a un consumo de 3880,9 A por tren.

Dado que solo será inaugurada una vía, es evidente que solo se podrá introducir un tren en la Línea a la vez, por lo que la máxima demanda está dada por la intensidad mencionada antes.

Por otro lado, la C. A. Metro de Caracas por lo general suele utilizar cables de 750 MCM para este tipo de instalaciones, debido a las intensidades de corriente.

Dadas las características de los cables descritas en la sección 3.2.2, se concluyó que era necesario colocar seis (6) cables para las conexiones con los disyuntores. Con este número de cables la corriente máxima que puede circular por el tercer riel sin causar daños a los cables es la que se muestra a continuación:

$$I = 3942 \text{ A}$$

Se observa que la corriente máxima soportada por los cables es análoga a la mínima corriente que puede soportar el tercer riel. Además, la resistencia equivalente obtenida con este arreglo es la siguiente:

$$R = 7,7 \text{ m}\Omega / \text{km}$$

Este resultado es análogo a la resistencia del riel de contacto (ver sección 2.1), por lo que las pérdidas serán parecidas a las obtenidas en el tercer riel. Para más información acerca de los cálculos ver Anexo C

Al dividir la intensidad de corriente que consume un tren completo a 20 km/h entre los seis (6) cables que conectarán a los disyuntores con los dos tramos de tercer riel, se obtiene la corriente que deberá circular por cada cable. Esta es la siguiente:

$$I = 646,87 \text{ A}$$

Por otro lado, tal como fue establecido en el Capítulo 2, el cupón de protección es lo suficientemente largo para alimentar un solo vagón a la vez. Debido a ello la corriente que fluirá desde el disyuntor B13 al cupón de protección será menor a la que circulará por los cables que conectan con los otros dos tramos de tercer riel. Más específicamente, la corriente que circulará es un sexto de la total que alimenta un tren completo, obteniendo como resultado la siguiente intensidad:

$$I = 657 A$$

Debido a la premisa anterior es que se ha establecido la utilización de dos (2) cables 750 MCM para la alimentación del cupón de protección, tal como puede observarse en el diagrama unifilar de la Figura 4.5. Dividiendo entre el número de cables establecido se obtiene la corriente que circulará por cada cable:

$$I = 328,5 A$$

En la Tabla 4.1 se muestra un resumen de los conductores para cada recorrido:

Tabla 4.1: Numero de cables para cada recorrido

Recorrido	Cables
Tramo Zona Rental – Disyuntor B11	6 x 750 MCM
Disyuntor B13 – Cupón de protección	2 x 750 MCM
Disyuntor B11 – Tramo Bello Monte	6 x 750 MCM

Una vez verificada la ampacidad de los conductores se revisó que se cumpla con las especificaciones de caída de tensión indicadas en el CEN. Al calcular la caída de tensión para todos los tramos en los que fueron utilizados cables 750 MCM se obtuvo lo siguiente:

Tabla 4.2: Caídas de tensión para cables 750 MCM en Zona Rental

Recorrido	ΔV
Tramo Zona Rental – Disyuntor B11	0,1398 %
Disyuntor B13 – Cupón de protección	0,8106 %
Disyuntor B11 – Tramo Bello Monte	0,9424 %

4.2.2.1.4 Bandejas portacables

Fueron utilizadas las bandejas portacables tipo ranuradas descritas en la sección 3.2.2. De acuerdo a los datos de capacidad de bandejas, para cables 750 MCM las bandejas de 171 mm de ancho pueden cargar un máximo de siete (7) cables, por lo que esta dimensión es adecuada para el caso trabajado. Esto dejará un espacio de reserva en caso de que se requiera incluir un cable adicional.

4.2.2.2 Aislamiento positivo provisional

Para el diseño final está planteado que el aislamiento positivo se realice por medio de disyuntores, tal como se ha mencionado en la sección anterior. Sin embargo, esto no podrá cumplirse para la inauguración de la provisionalidad Bello Monte, pues los equipos no estarán disponibles debido al tiempo de fabricación de los mismos. Ante tal circunstancia, se planteó la utilización de seccionadores provisionales hasta la llegada de los disyuntores. Estos seccionadores fueron ubicados en el mismo sector en el que serán colocados los disyuntores.

En la Figura 4.8 se puede observar un esquema de cómo quedarán tanto los disyuntores B11 y B13 como los seccionadores provisionales SP1 y SP2 en el sótano de la S/E de tracción en Zona Rental:

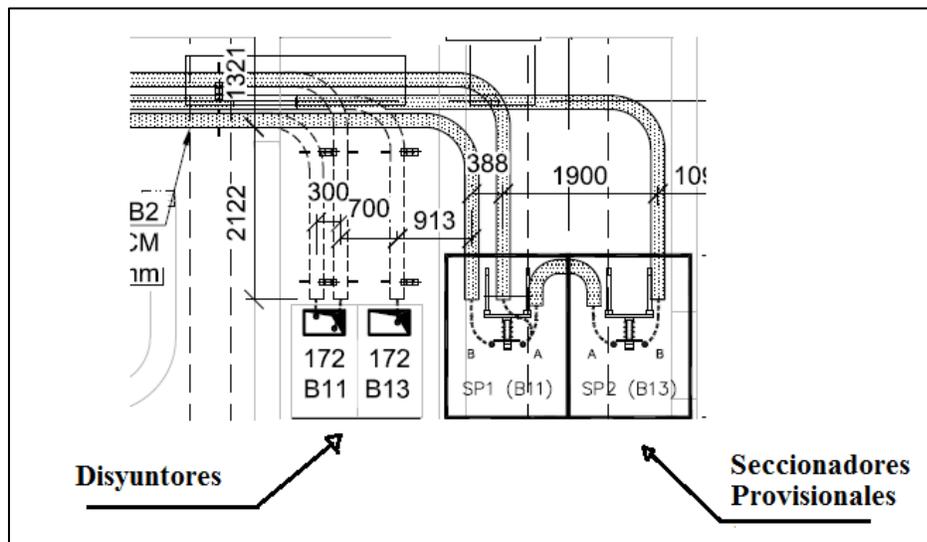


Figura 4.8: Implantación final de seccionadores provisionales

De la figura se puede observar que los seccionadores se colocarán a la derecha del espacio designado para los disyuntores, con lo cual, como se concluyó anteriormente, se podrán aprovechar las bandejas y cables cuando estén disponibles los disyuntores originales.

4.2.2.3 Aislamiento negativo

4.2.2.3.1 Descripción Unifilar Aislamiento Negativo

A diferencia del aislamiento positivo, para el aislamiento negativo se utilizarán seccionadores tanto para la provisionalidad como para los trabajos definitivos. Esto debido a que es una medida de seguridad para trabajos de mantenimiento que se vayan a realizar en la vía, a diferencia del aislamiento positivo, cuya finalidad es tanto la puesta en seguridad para mantenimiento como la interrupción de corrientes de cortocircuito

En la Figura 4.9 se muestra el diagrama unifilar planteado para el aislamiento negativo:

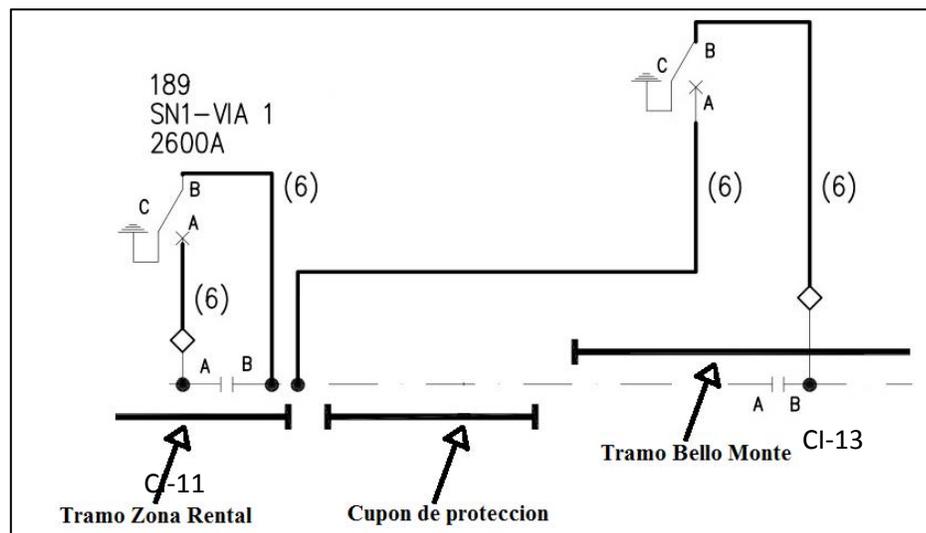


Figura 4.9: Diagrama Unifilar Aislamiento negativo

En la figura anterior se muestran los tramos del riel de contacto para dar una idea de la ubicación física de los puntos en los que se hallarán las secciones aisladas del riel de rodamiento. Los seccionadores funcionarán como interfaz de conexión entre un tramo y otro, al igual que los disyuntores en el aislamiento positivo.

4.2.2.3.2 Recorrido preliminar

Los seccionadores fueron colocados al final de andén de la estación Zona Rental, tal como es mostrado en la Figura 4.1. El espacio destinado para ello puede observarse en la Figura 4.10:

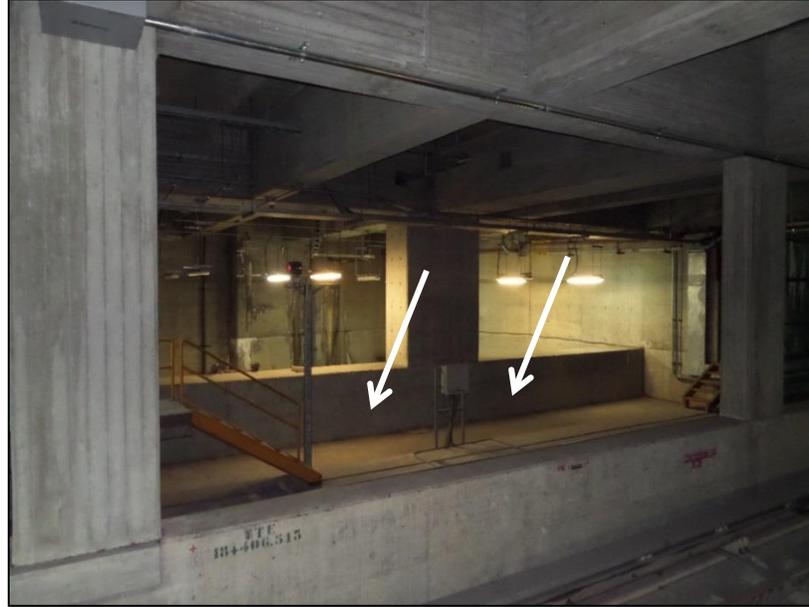


Figura 4.10: Espacio destinado a seccionadores de circuito negativo

Tal como fue descrito en la sección 3.2.2.2 la sección entre las conexiones de los seccionadores está diseñada de forma que un tren completo pueda estacionarse en ella. Esto puede observarse de manera esquemática en la Figura 4.11.

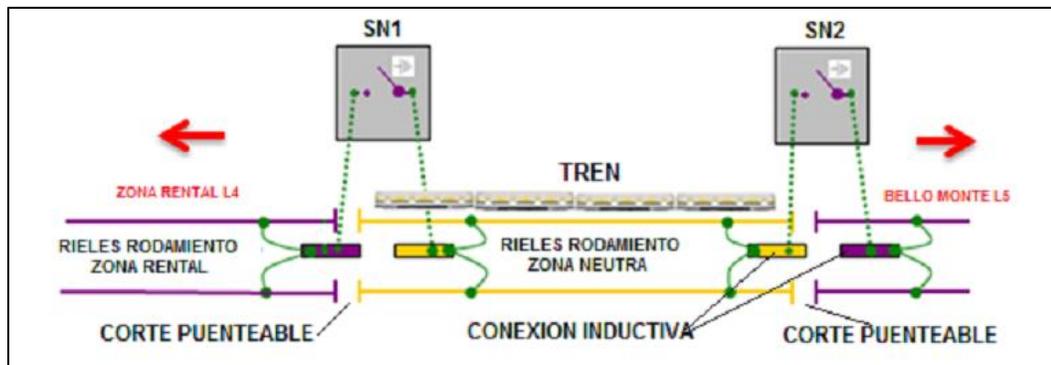


Figura 4.11: Esquema de conexión de seccionadores a rieles de rodamiento

4.2.2.3.3 Conductores

Los rieles de rodamiento cumplen la función de retorno de negativo, por lo que las intensidades de corriente serán análogas a las que habrán en el riel de contacto. Es debido a ello que se estableció el uso de los mismos cables 750 MCM en la misma cantidad (6 cables), para la conexión entre los rieles de rodamiento y los seccionadores. Los cables se conectan a las cajas inductivas tal como se observa en la Figura 4.9.

En cuanto a la caída de tensión, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 4.3: Caída de tensión para cables de aislamiento negativo

Recorrido	ΔV
Seccionador SN1 – Caja inductiva CI-11	0,0487 %
Seccionador SN2 – Caja inductiva CI-13	0,4502 %

Para más información acerca del cálculo ver Anexo C.

4.2.2.3.4 Bandejas Portacables

Se tiene el mismo caso descrito en la sección 4.2.2.1.4, por lo que serán utilizadas bandejas tipo ranuradas. Las bandejas portacables serán empleadas para la conexión desde los seccionadores hasta los rieles de rodamiento.

4.2.2.3.5 Implantación final

Una vez establecido el recorrido a nivel esquemático, fue establecido el recorrido final desde los seccionadores hasta los puntos de conexión con los rieles de rodamiento. Este recorrido puede observarse en la Figura 4.12, en el cual se indica por medio de flechas los puntos iniciales y finales para cada cable, el número de cables a utilizar y el tamaño de las bandejas.

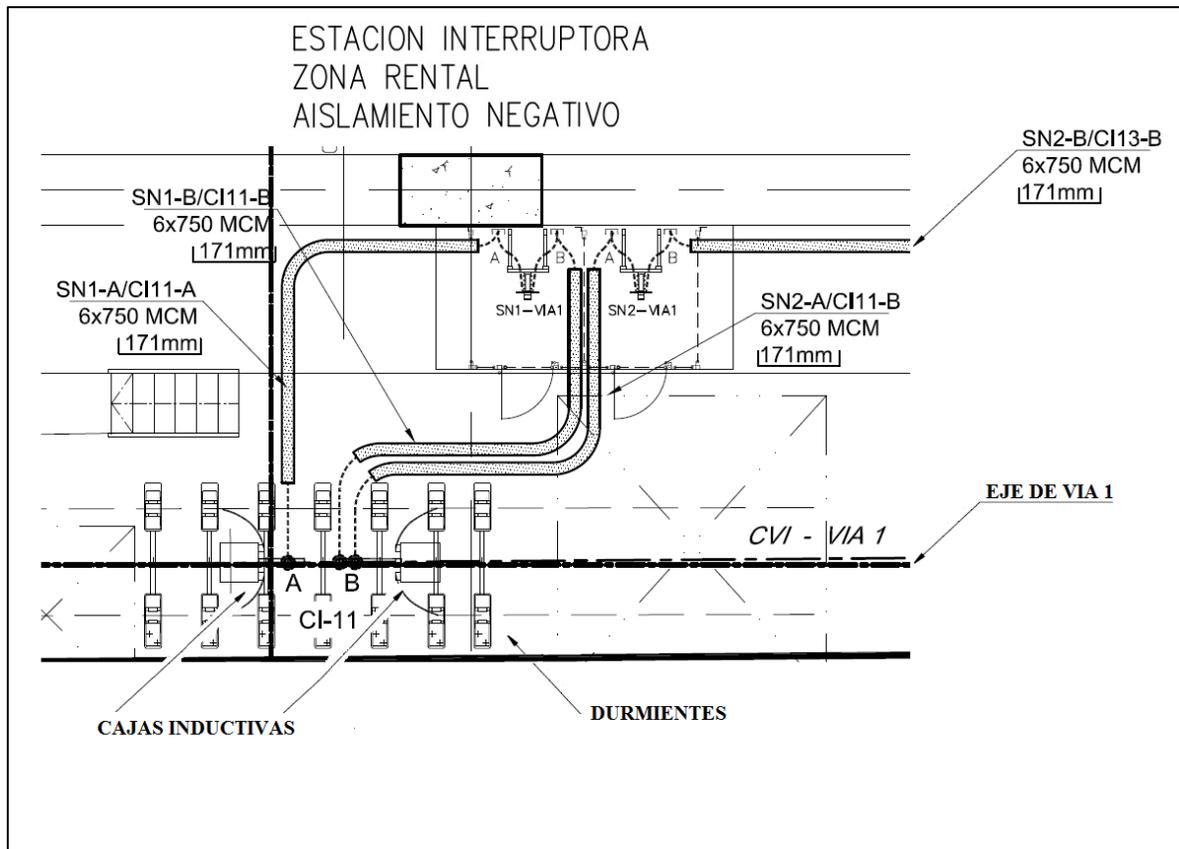


Figura 4.12: Recorrido final para circuito de aislamiento negativo

El punto CI13-B, mencionado en la Figura 4.12, es aquel perteneciente a la caja inductiva ubicada en el tramo de Bello Monte, la cual puede verse en la Figura 4.9.

Por otro lado, en la Figura 4.10 se observa que los seccionadores estarán a la misma cota de la vía del tren. Dado que se está en un espacio subterráneo las probabilidades de filtración, y en algunos casos de inundación, son altas. Debido a ello se planteó la construcción de una base de concreto que permita la elevación de los equipos por sobre la cota de la vía, de forma que a la hora de accionarlos el operador quede fuera de contacto con las aguas filtradas.

4.3 Estación Bello Monte

Estará ubicada en la Av. Beethoven en Sector Bello Monte. Para la provisionalidad Bello Monte se plantea la inauguración parcial de esta estación. Será la segunda estación de la Línea 5. Al igual que las demás estaciones contará con una S/E y centro de distribución, siendo estos parte de los trabajos definitivos.

El trabajo de pasantía se enfocó en la instalación de los cables de 30 kV provenientes de la estación Zona Rental hasta el cuarto de Four Ways de la estación.

En la Figura 4.13 se muestra el nivel Mezzanina de la estación Bello Monte junto con las zonas importantes para el trabajo de pasantía, tales como son la Vía 1 del tren proveniente desde la estación Zona Rental y el cuarto de 4-Ways a donde llegarán los circuitos de 30 kV

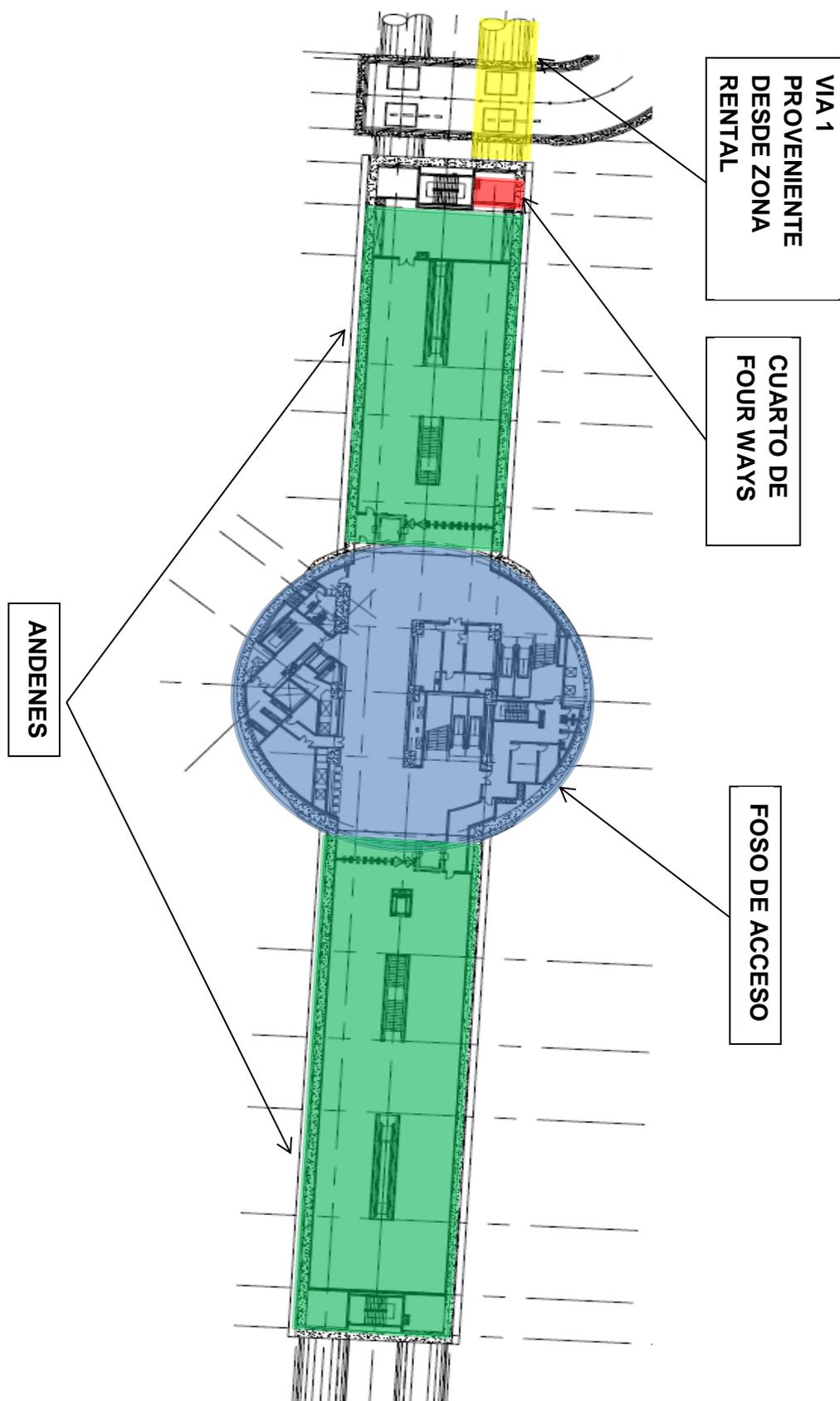


Figura 4.13: Arquitectura nivel Mezzanina Estación Bello Monte

4.3.1 Circuitos 30 kV

En concordancia con lo explicado en la sección 3.2.1, el circuito de 30 kV llegará a la estación Bello Monte por medio del túnel de la vía 1. A continuación se describen las características del circuito trabajado.

4.3.1.1 Diagrama Unifilar de recorrido 30 kV

En la Figura 4.14 se muestra el diagrama unifilar planteado para la Provisionalidad Bello Monte:

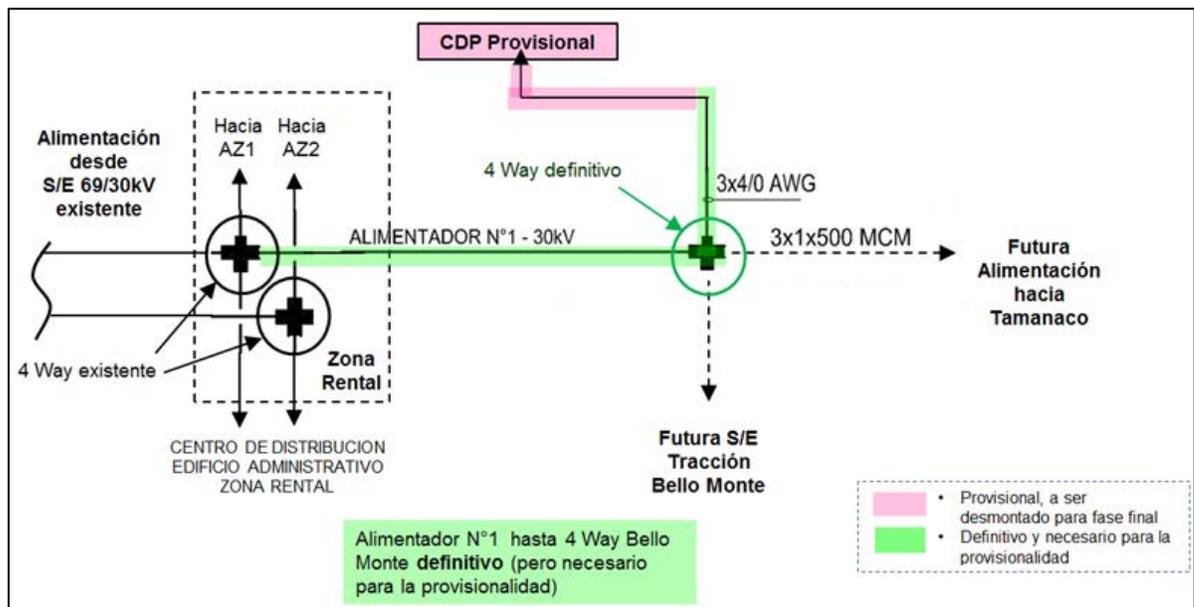


Figura 4.14: Diagrama unifilar Provisionalidad Bello Monte

Para este trabajo de pasantía se hizo énfasis en la instalación del cableado de 30 kV que va desde el túnel hasta el cuarto de Four Ways de la estación Bello Monte, dado que la obra civil hacia el CDP provisional no se encontraba en fases adecuadas para trabajar sobre esta ruta.

Tal como se indica en la Figura 4.14, el cableado de 30 kV a ser instalado para la provisionalidad está previsto a utilizarse para el montaje definitivo, por lo que las instalaciones son del tipo no desinstalable.

4.3.1.2 Recorrido Preliminar

Los cables de 30 kV llegarán desde el túnel de Vía 1 pasando por las compuertas de ventilación hasta posicionarse debajo del cuarto de Four Ways. Luego estos subirán de nivel a través de huecos previamente dejados para el paso de las bandejas.

En la Figura 4.15 se muestra el recorrido descrito:

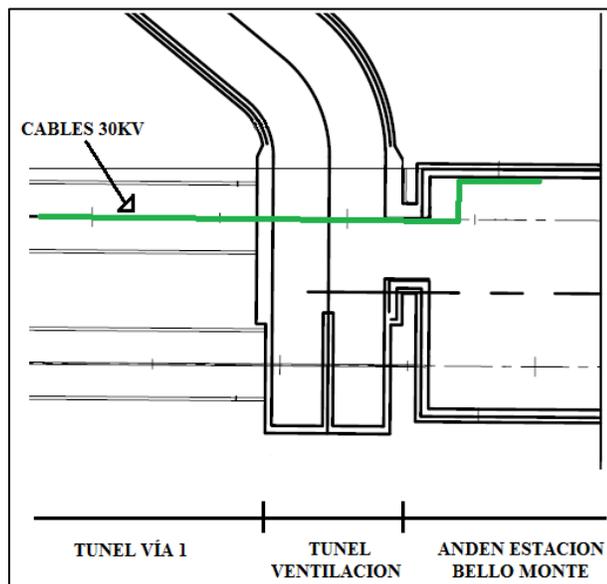


Figura 4.15: Recorrido de cables 30 kV en Bello Monte

De acuerdo a lo descrito en la sección 4.2.1.2 los cables de 30 kV se llevarán por el centro del túnel de vía 1 desde la estación Zona Rental hasta la estación Bello Monte. El principio de Andén de la estación Bello Monte esta precedido por dos ventanas que serán empleadas para la ventilación de emergencia del túnel. Al llegar a este punto los cables de 30 kV deben esquivar dichas ventanas puesto que de lo contrario estorbarán el paso de aire desde o hacia el túnel.

En la Figura 4.16 se muestra el espacio reservado para las ventanas de ventilación, así como el recorrido que fue planteado para el paso de los cables en dicho espacio. La imagen fue tomada desde la estación Bello Monte apuntando en dirección hacia Zona Rental:

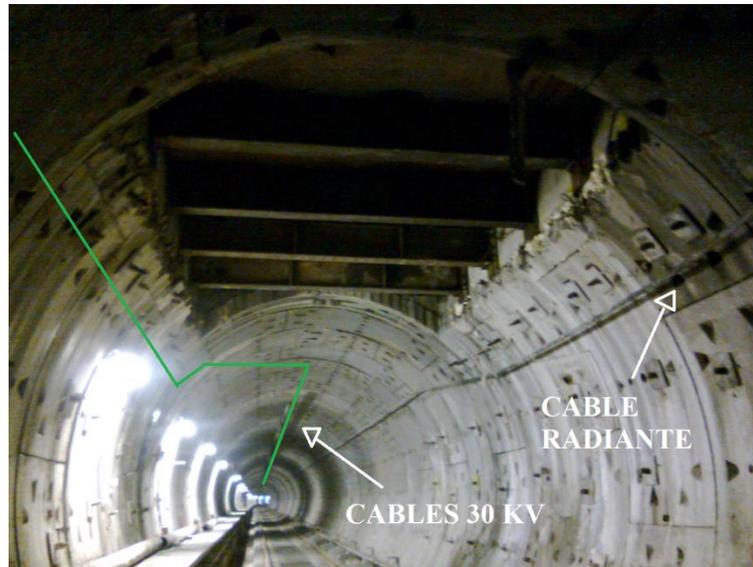


Figura 4.16: Espacio para abertura de ventilación de emergencia

Se escogió este recorrido para los cables de 30 kV debido a la presencia de un cable radiante en la pared norte, tal como se observa en la Figura 4.16.

4.3.1.3 Conductores

Los conductores son los mismos provenientes desde la estación Zona Rental, por lo que tendrán las mismas características descritas en la sección 4.2.1.3.

4.3.1.4 Bandejas Portacables

Las bandejas portacables serán iguales a las empleadas en la estación Bello Monte, por lo que se tienen las mismas características descritas en la sección 4.2.1.4.

4.3.2 Circuitos 750 VCC

Para la Provisionalidad Bello Monte se trabajará con un solo circuito de 750 Vcc destinado a la desenergización de la cola de maniobra. A continuación se darán los detalles de las actividades realizadas durante la pasantía.

4.3.2.1 Descripción Unifilar en Cola de Maniobra

En la Figura 4.17 se puede apreciar el diagrama unifilar del contactor bipolar encargado de la alimentación de la Cola de maniobra:

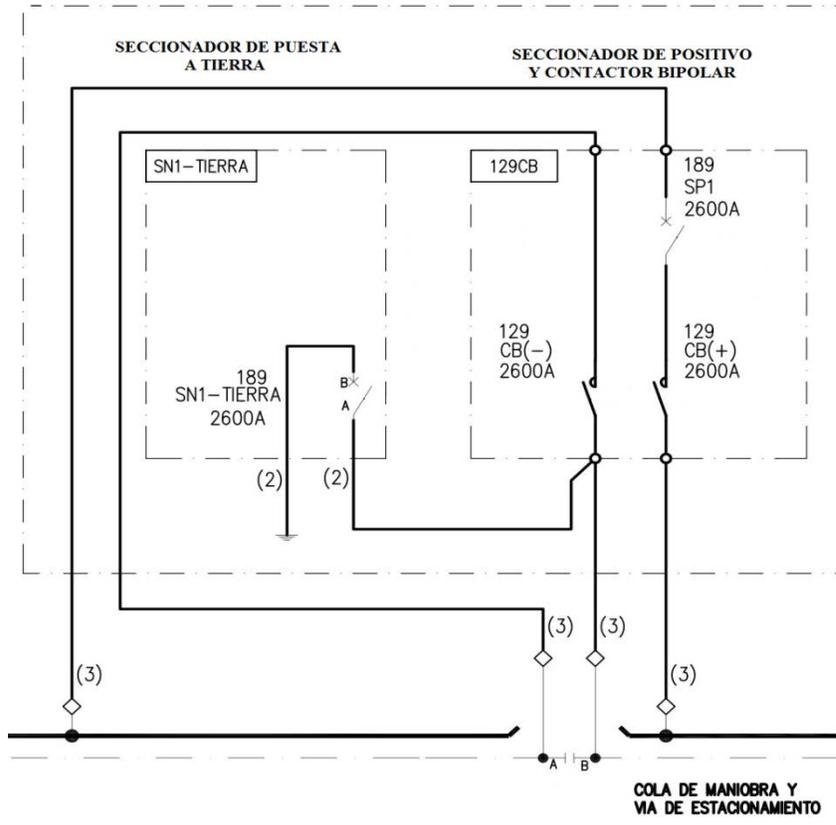


Figura 4.17: Diagrama Unifilar de Contactor Bipolar en Cola de Maniobra

4.3.2.2 Implantación de equipos

Como puede observarse en la Figura 4.17 la alimentación de la cola de maniobra se realiza a través del contactor bipolar, y por petición del cliente, las conexiones por medio de cables iguales a los empleados en las instalaciones de 750 VCC de la estación Zona Rental. También se ha establecido el uso de un seccionador extra para el circuito positivo que conecta a la Cola de Maniobra con el tramo Zona Rental – Bello Monte, esto para agregar mayor seguridad a la hora de realizar trabajos de mantenimiento.

Dado lo explicado sobre la cola de maniobra en la sección 2.1 se sabe que las velocidades con las que serán movidos los trenes son bajas con respecto a la velocidad promedio con la que se moverán de una estación a otra. Como consecuencia la demanda de corriente será menor a la demanda promedio.

Debido a lo anterior es factible la utilización de equipos de menor capacidad, pues las intensidades de corriente que se tendrán son menores a las que se obtendrán en la estación interruptora de la estación Zona Rental.

En este caso, el tren no superará los 8 km/h, consumiendo una corriente no mayor a 1922 A. Tomando un factor de seguridad de 1.2 se establecieron equipos de 2600 A.

Siguiendo el patrón utilizado para Zona Rental, los conductores a utilizar fueron 750 MCM, ante lo cual es evidente que deben utilizarse mínimo tres (3) cables para soportar las intensidades de la cola de maniobra.

CAPÍTULO 5

ESTUDIO CONCEPTUAL SUBESTACIÓN CARRIZAL 69 / 30 KV

5.1 Datos Conceptuales de la Acometida de CORPOELEC

5.1.1 Antecedentes para la Línea 69 kV

En el año 2009 CORPOELEC otorga la factibilidad de brindar servicio al Metro de Los Teques para el año 2011. Igualmente se solicita el plan de carga anual de las líneas 1 y 2 del Metro de Los Teques y se destaca que los escenarios evaluados para otorgar la factibilidad fueron desarrollados considerando una carga de 120 MVA como capacidad máxima entre las tres líneas.

Como decisión final se establece que la S/E surta solo a las líneas 1 y 2 de Metro Los Teques, surgiendo entonces la necesidad de otra S/E para la alimentación de la línea 3 que aún se encuentra en proyecto.

5.1.2 Ubicación Geográfica de la Línea 69kV

La línea de alimentación de la nueva subestación Metro Los Teques partirá desde la subestación OAM 69 kV, ubicada en el km 8 de la Carretera Panamericana, Edo. Miranda; hasta la nueva subestación Metro Los Teques, la cual estará ubicada en la vía hacia Carrizal, subiendo por la Carretera Panamericana. La ruta de la línea propuesta parte desde la subestación OAM 69 kV, paralela a la línea OAM-San Antonio 69 kV y luego continúa paralela al Ramal Carrizal 69 kV, hasta el punto donde deba desviarse para llegar al terreno de la subestación Metro Los Teques.

5.1.3 Descripción de la línea de alimentación

La nueva línea aérea-subterránea OAM-Metro Los Teques de 13 km aproximadamente, deberá ser proyectada para contener dos circuitos en 69 kV. Cada circuito deberá disponer de la capacidad para alimentar la totalidad de la carga proyectada para la máxima expansión de la subestación Metro Los Teques 69/30 kV. Para ello se propone el uso de conductor de aluminio tipo ARVIDAL (Al 6201) calibre 1272 MCM para el tramo aéreo, y conductor tipo XLPE calibre 734mm² o superior para el tramo subterráneo.

5.1.4 Beneficios de la Línea

La construcción de esta línea proveerá la alimentación de la nueva subestación Metro Los Teques 69/30 kV, garantizando el suministro eléctrico a las nuevas líneas de trenes, 1 y 2 del Metro los Teques

5.2 Localidad de la S/E

La subestación 69/30kV será construida en el Municipio Carrizal del Estado Miranda. Esta se encuentra a una Altitud de 1370 m, con una temperatura ambiente promedio de 40°C, humedad relativa de 80% y comportamiento ante sismos de 0,5g horizontal y vertical [5]. El área planteada para la construcción de la S/E 69/30kV posee un área total de aproximadamente 2300 m², por lo que se cumple con la normativa establecida en la sección 4.2.1.

5.3 Dimensionamiento del Transformador

Siguiendo las premisas descritas en la sección 3.5 a continuación se describen las cargas previstas para la Línea 2 del Metro Los Teques.

5.3.1 Distribución de las Cargas

La S/E 69/30kV Carrizal comprenderá dos transformadores de potencia. Estos transformadores deberán asegurar la alimentación de las líneas 1 y 2 del Metro Los Teques [4]. La potencia de cada transformador será tal que se podrá garantizar el servicio normal del sistema. Para garantizar esto un solo transformador deberá ser capaz de suplir toda la demanda de ambas líneas.

Estos transformadores alimentan las diferentes subestaciones de la línea a través de un anillo en 30kV. Para el dimensionamiento de la potencia, se necesitan los valores de consumo totales de:

- Subestaciones de tracción
- Centros de distribución
- Otras cargas auxiliares

5.3.1.1 Consumo de la Línea

Centros de Distribución:

Tabla 5.1: Demandas Centros de distribución Líneas 1 y 2 Metro Los Teques

Línea	Carga	Tipo	S [kVA]
MLT1	Corral de Piedras	CD	465,1
MLT1	California	CD	465,1
MLT1	Rio Cristal	CD	465,1
MLT1	Carrizalito	CD	465,1
MLT1	Ayacucho	CD	930,1
MLT1	El Chorruto	CD	465,1
MLT1	Alí Primera	CD	930,1
MLT2	Guaicaipuro	CD	1805,5
MLT2	Independencia	CD	1805,5
MLT2	Macarena	CD	1805,5
MLT2	Los Cerritos	CD	1805,5
MLT2	Carrizal	CD	1805,5
MLT2	Santa Isabel	CD	1805,5
MLT2	Carbonera	CD	1805,5
MLT2	Las Minas	CD	1805,5
MLT2	San Antonio	CD	1805,5
	Total	CD	20435,2

NOTA: En las potencias de los centros de distribución se incluyen las cargas auxiliares de las subestaciones de tracción.

En las tablas 5.2 y 5.3, se muestran los reportes de simulaciones, que tiene el consumo de las subestaciones de tracción.

Tabla 5.2: Demandas S/E Líneas 1 y 2 Metro Los Teques

Línea	Carga	Tipo	S [kVA]
MLT1	Las Adjuntas 2	S/E	2263,2
MLT1	Rio Cristal	S/E	2363,7
MLT1	Carrizalito	S/E	2169,0
MLT1	Ayacucho	S/E	2480,1
MLT1	Alí Primera	S/E	2819,7
MLT2	Independencia	S/E	3640,5
MLT2	Los Cerritos	S/E	2766,0
MLT2	Carrizal	S/E	2731,8
MLT2	Foso Santa Isabel	S/E	2556,3
MLT2	Carbonera	S/E	3884,9
MLT2	Las Minas	S/E	2857,1
MLT2	San Antonio	S/E	2000,4
	Total	S/E	32532,7

Tabla 5.3: Demandas Circuitos Auxiliares Líneas 1 y 2 Metro Los Teques

	Potencia (VA)
Aux 1	51462
Aux 2	51462
Total	102924

Reagrupando los datos anteriores se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 5.4: Demandas totales Líneas 1 y 2 Metro Los Teques

Resumen	MVA
Subestaciones de tracción	32,53
Centros de distribución	20,44
Aux 69/30kV Carrizal	0,103
Total	53,07
+13%	6,90
Total General	59,97

5.3.2 Capacidad del Transformador

Con el resultado anterior se concluye que la potencia necesaria para que un transformador asuma la totalidad de la carga es de 53,07MVA.

En términos comerciales se puede elegir un transformador de 60 MVA, con el cual se tendrá un factor de reserva de 13%, tal como se ha indicado en la Tabla 5.4.

5.4 Características del Transformador

Los transformadores 69/30 kV- 60Hz deberán estar constituidos de 3 columnas en línea en chapas magnéticas, 2 arrollados, 3 fases, aptos para una operación en paralelo. Esto permite que en caso de cargas desequilibradas no existan flujos magnéticos en el aire, ya el desequilibrio es compensado en las tres columnas.

Los transformadores estarán inmersos en aceite mineral, tipo intemperie y fabricados de acuerdo a la norma IEC 60076.

Los arrollados primarios estarán conectados en delta y tendrán una tensión nominal entre fases de 69kV.

Los arrollados secundarios estarán conectados en estrella con el punto neutro conectado a tierra a través de una resistencia. La tensión nominal entre fases será de 30kV. Se usa esta configuración debido a las ventajas que posee, tales como:

- Es una trayectoria para las corrientes causadas por cargas desbalanceadas
- Permite suministrar dos clases de servicio; de tensión trifásica para cargas de potencia, o tensión monofásica para cargas auxiliares tales como alumbrado y aplicaciones domésticas.
- Permite balancear las tensiones de línea con respecto a las tensiones de fase.

- Disminuye los armónicos.

Después de realizar la auditoria en tres plantas para verificación de calidad, se eligió el transformador de marca ABB.

A continuación se explican las características básicas que deben poseer los transformadores de Potencia a utilizar en la subestación.

5.4.1 Características Físicas

Aceite y sistema de preservación del aceite

Cada transformador deberá estar aislado usando un aceite mineral con cualidades aislantes. Se debe cumplir con las normas IEC 296.

Cada transformador estará equipado con un sistema de preservación de aceite, usando un tanque de expansión operando a presión atmosférica.

Calentamiento

El aislamiento será de clase A, para el cual los transformadores estarán diseñados para operar a no más de 55°C de elevación de temperatura, próximo al punto de ebullición del agua [6], diseñado para soportar:

- Una elevación de temperatura en los devanados, medida por resistencia, de 65K.
- Una elevación de temperatura máxima del aceite (medido por termómetro) de 60K.

Sistema de enfriamiento:

El enfriamiento será del tipo ONAN/ONAF. El enfriamiento ONAN previsto está asegurado por baterías de radiadores planos, unidos al tanque. Los transformadores contarán con ventiladores de enfriamiento para las etapas de ventilación forzada (ONAF), cuyos motores

deberán operar en un sistema de 480V, 60 Hz trifásico. Estos ventiladores serán controlados en forma automática por los dispositivos de medición de la temperatura en el punto más caliente de los devanados.

Los transformadores deberán estar diseñados para operar en forma continua sin exceder los aumentos de temperatura indicados anteriormente.

Equipos de Medición

El transformador debe incluir en los pasa tapas los TC (Transformadores de corriente) necesarios para las mediciones respectivas. Estos son:

- Alta Tensión
1 TC's por fase 600/5 A - 10VA – 5P20 (MR = Multi Ratio)

- Media Tensión
1 TC por fase: 1200/5 A 10VA – 5P20

Dimensiones y Peso

Las dimensiones del transformador escogido son:

Altura = 5m

Ancho = 4,7m

Largo = 7m

Peso = 60000 kg

A continuación en la Figura 5.1 se muestra un dibujo esquemático del transformador seleccionado:

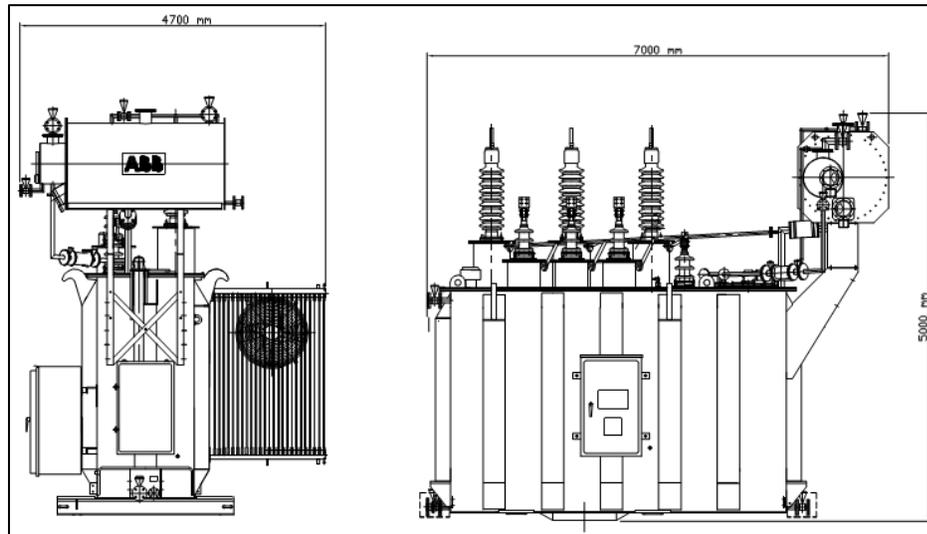


Figura 5.1: Dibujo esquemático de Transformador seleccionado

5.4.2 Características Eléctricas

A continuación se indican las características eléctricas que debe tener cada unidad:

Red:

Tensión nominal primaria en vacío	69 kV eff
Tensión nominal secundario en vacío	30 kV eff
Frecuencia nominal	60Hz

Nivel de Aislamiento:

De las tensiones nominales puede observarse que el nivel de aislamiento de los transformadores a implementarse pertenece a la Gama I (tensiones desde 1kV hasta 245kV). En la tabla que se muestra a continuación se enseñan las tensiones normalizadas para el aislamiento dentro de la Gama I:

Tabla 5.5: Niveles de aislamiento normalizados para la Gama I ($1 \text{ kV} < U_m < 245 \text{ kV}$)

Tensión más elevada para el material U_m kV (Valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (Valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (Valor de cresta)
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
12	28	60
		75
		95
17,5	38	75
		95
24	50	95
		125
		145
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1050

Con los datos de la Tabla 5.5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden establecer las características de cada devanado:

- Devanado primario

Tensión más alta de la red	72,5 kV eff
Tensión de resistencia a frecuencia industrial	140 kV eff
Tensión de resistencia al Choque	325 kV cresta

- Devanado secundario

Tensión más alta de la red	36 kV eff
Tensión de resistencia a frecuencia industrial	70 kV eff
Tensión de resistencia al Choque	170 kV

Valores de definición

Potencia nominal en régimen ONAN (AT / MT)	45 MVA
Potencia nominal en régimen ONAF (AT / MT)	60 MVA
Acoplamiento	Dyn1
Zcc (potencia ONAN 45 MVA) (tolerancia 10%)	11 %
Pérdidas en vacío (tolerancia +15%)	33 kW
Pérdidas bajo carga (potencia ONAF 60MVA) (tolerancia 15%)	207kW a 75°C

Sobrecargas

Cada transformador será capaz de soportar durante 2 horas, las sobrecargas admisibles según la Guía de Carga CEI 60076-7

Cambiador de Tomas

Cada transformador tendrá en el primario un cambiador de tomas bajo carga, automático, con compensación por caída de tensión en la línea. El equipo estará diseñado para permitir la operación tanto en paralelo como en forma individual, de los dos transformadores de potencia y deberá ser capaz de soportar las condiciones de cortocircuito y tensión nominal.

Las características del cambiador de tomas serán:

Regulación de tensión	+/- 10%
Numero de escalones / posiciones	16/17
Tensión de escalón	1,25%

Las características nominales del cambiador de tomas serán:

Corriente nominal mínima	500 A en primario
Tensión nominal	69 kV en primario

5.5 Dimensionamiento de Seccionadores de Potencia

A petición del cliente el seccionador 69 kV deberá ser del tipo aislado en aire y tendrá tres posiciones:

- Cerrado
- Abierto
- Seccionador a Tierra.

El seccionador deberá ser tripolar de tipo apertura central. Cada polo tendrá dos columnas giratorias, cada una con su brazo de conexión con contactos de cobre. El seccionador tendrá una cuchilla de puesta a tierra que será enclavada mecánicamente con las cuchillas principales, esto para la puesta en seguridad del transformador

El seccionador será capaz de interrumpir la corriente magnetizante del transformador.

El mecanismo del seccionador será de acción motorizada tanto para la función de cierre como la de apertura, con posibilidad de cambiar a modo manual en caso que se requiera. Habrá dos mandos eléctricos, uno para el accionamiento del seccionador de las fases y otro para el seccionador de puesta a tierra.

Así mismo, el seccionador vendrá equipado con las provisiones para enclavamientos mecánicos necesarios, tanto para evitar su apertura bajo carga y asegurar una secuencia de operaciones apropiadas para la conexión a tierra del transformador, como para asegurar la seguridad de los trabajadores en la S/E al momento de realizar mantenimiento. Cada seccionador, al estar en posición “Seccionador a tierra”, liberará una llave que permitirá realizar trabajos de mantenimiento en las líneas de 69kV.

5.5.1 Características Eléctricas

Siguiendo las premisas dadas en la sección 3.6 se sabe que es necesario conocer el nivel de cortocircuito en la acometida para el dimensionamiento. De los cálculos realizados en la acometida de la S/E se obtienen los siguientes niveles de cortocircuito en la barra de llegada:

$$I_{CC-3\phi} = 8,20kA$$

$$I_{CC-1\phi} = 4,54kA$$

Se puede observar que la corriente de cortocircuito trifásica es mayor a la monofásica, por lo que se usará esta para el diseño de los equipos.

Por otro lado, de acuerdo a los requerimientos del cliente, el seccionador de 69kV tendrá las siguientes características eléctricas:

- Tensión nominal: 69 kV rms
- Nivel de impulso (BIL): 350 kV pico
- Corriente nominal en régimen permanente: 1250 A rms
- Corriente momentánea de cierre y enclavamiento: 100 kA cresta
- Corriente de corto circuito por 3 segundos: 40 kA x 3seg
- Capacidad de corte de corriente magnetizante: 6 A

Con estos datos se realizó la verificación con respecto a los resultados obtenidos de los cálculos de cortocircuito en la acometida de la S/E 69/30kV.

De los datos anteriores se puede observar que el seccionador es capaz de soportar más de cuatro (4) veces la corriente de cortocircuito más elevada que pudiere producirse en las barras de entrada a la S/E, por lo que el seccionador establecido por el cliente es adecuado.

5.5.2 Características Físicas

La altura del soporte de los seccionadores debe ser menor a la altura de los soportes de cables y pararrayos, para que de esta forma la cuchilla de puesta a tierra mantenga una distancia aceptable del cable energizado y se evite hacer conexión entre el transformador y el pararrayos.

Con esto se establecen las siguientes dimensiones para los soportes en el punto donde se encontrarán las cuchillas de seccionamiento:

Altura: 3 m

Ancho: 3,2 m

Profundidad: 0,66 m

El mismo tendrá un espacio reservado para el mando motorizado encargado de la automatización del seccionador.

5.5.3 Mando Eléctricos

Se plantea el uso de mandos eléctricos marca SDCEM modelo MR41E para el accionamiento de los seccionadores. Estos poseen un módulo electrónico adaptable a todas las tensiones de alimentación del motor y capaz de gestionar el control / mando. También posee variaciones de velocidad en la trayectoria del seccionador con el propósito de disminuir los esfuerzos mecánicos.

Se podrá tener una visión global del conjunto, tanto en modo local como en remoto, por medio de la integración de redes de comunicación en diferentes tecnologías y protocolos [13].

El mando posee una palanca para su operación manual en caso de falla en la alimentación del mando eléctrico.

5.6 Reservaciones civiles en el Patio

Para garantizar la comodidad de tránsito en el patio de la S/E, se ha establecido el paso de conductores por medio de canaletas de concreto, que servirán de interfaz entre los equipos.

5.7 Selección de conductores

Dada la naturaleza de la Subestación puede considerarse a los conductores provenientes de la acometida de CORPOELEC como alimentadores del sistema Metro Los Teques. De acuerdo a la Norma VE-1, el mínimo calibre que deben tener estos conductores, sin aplicar factor de corrección, debe ser tal que la capacidad sea igual o mayor que la de la carga no continua más el 125% de la carga continua.

Aplicando el procedimiento detallado en la sección 3.8.1 es posible obtener la intensidad para el lado de baja tensión del transformador 69 / 30 kV:

$$I = \frac{60 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot (30 \text{ kV})} \quad \rightarrow \quad I = 1154.7 \text{ A sec}$$

Así como también es posible obtener la corriente para cada circuito que saldrá de las celdas de 30 kV hacia los túneles

$$I = \frac{1154,7 \text{ A sec}}{2} \quad \rightarrow \quad I = 577,35 \text{ A}$$

5.6.1 Características de los conductores

Al igual que el caso de los trabajos en la Provisionalidad Bello Monte, el calibre especificado por el cliente para el recorrido de circuitos 30kV es 500 MCM.

Como puede observarse con los datos de conductores dados en la sección 3.2.1, se necesitarán varios conductores por fase para poder cumplir con las demandas obtenidas. Específicamente se deberán emplear tres (3) cables por fase desde los transformadores hasta el sótano de la S/E.

5.6.2 Verificación de Caída de Tensión

A continuación se muestra el resultado de caída de tensión obtenido para el trayecto Transformador – Celdas, tramo para el cual se tienen 43 m.

$$\Delta V = 0,0315 \%$$

Para más información del cálculo de caída de tensión ver Anexo C

CONCLUSIONES

La macro realizada para la generación de reportes funciona correctamente, mostrando los documentos y sus respectivos estatus para el rango de tiempo que se especifique. Sin embargo, la misma solo es aplicable al libro donde se haya la base de datos, siendo necesario modificar la macro en caso de que se requiera utilizar para otra base de datos distinta.

Las actividades planteadas para la Línea 5 se llevaron a cabo con éxito, permitiendo la electrificación del tramo para las pruebas necesarias previas a la inauguración de la estación Bello Monte.

Todo lo concerniente al cableado entre las dos estaciones Zona Rental y Bello Monte está correctamente dimensionado, previendo cualquier eventualidad que pudiese darse a nivel de corriente.

Lo mismo aplica para las alturas de seguridad establecidas para las bandejas de 30 kV y las bandejas de 750 Vcc, bajo las cuales se cumple con lo establecido en las normas 110-34 del CEN, cuya tabla se muestra en el Anexo B.3.

En el caso del seccionamiento negativo se puede observar que, en caso de que los seccionadores fueran operados manualmente, la separación entre el operador y la vía del tren no es muy grande. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que los mismos solo serán operados cuando la vía se encuentre desenergizada, y por ende no haya circulación de trenes en el momento de la acción. Lo mismo aplicará para los futuros seccionadores de la vía 2.

El uso de disyuntores para el aislamiento positivo permitirá mantener la selectividad en caso de una falla en el tramo de Bello Monte, es decir, se interrumpe el flujo de energía en el tramo hacia Bello Monte sin desenergizar el tramo de Zona Rental.

En el área de la trinchera de Zona Rental se hicieron modificaciones al recorrido del cableado debido a los radios de curvatura que se tendrán. Hay que recordar que el cable instalado en los túneles es de característica rígida.

En el caso de la subestación Carrizal se observó que el número de cables que conectan a los transformadores de potencia con las celdas de distribución es mayor al número utilizado la S/E que se utilizó como guía, en este caso, la S/E 69/30 kV de Coche. Esto es debido a que los transformadores a emplear en Carrizal son de mayor tamaño y potencia que los instalados en Coche, por lo que las corrientes en el lado de Baja Tensión serán mayores, siendo necesario un conductor más por fase.

Tanto los seccionadores como los transformadores de potencia están bien dimensionados, permitiendo el paso de la corriente nominal, y capaces de soportar corrientes de cortocircuito en tiempos que permiten la actuación de los dispositivos de protección.

Los cálculos de caída de tensión entregaron resultados coherentes, en mayor parte debido a que las distancias a recorrer son muy bajas con respecto a la tensión que se tiene.

RECOMENDACIONES

Como fue explicado anteriormente, fueron utilizados seccionadores provisionales para el aislamiento positivo del tramo Zona Rental - Bello Monte. Sin embargo, el diseño final establece el uso de disyuntores capaces de interrumpir corrientes de falla.

Es recomendable hacer la instalación de los disyuntores una vez estén disponibles, ya que los mismos son capaces de interrumpir corrientes de falla, lo que permite mantener la selectividad del sistema. Mientras no se tengan disponibles los disyuntores de seccionamiento las fallas deberán ser despejadas por los disyuntores principales ubicados aguas arriba en la S/E de tracción de Zona Rental, lo que dejará sin energía al tramo de Zona Rental por fallas ubicadas en un tramo distinto.

Así mismo, se recomienda hacer la verificación de los equipos necesarios para futuros trabajos con antelación, dado los periodos de tiempo que los mismos demoran en llegar.

En el caso del número de cables a utilizarse en la estación interruptora, se observa que con seis cables se logra una capacidad adecuada para las corrientes que circularán. Sin embargo, podría darse el caso en el que el tren supere los 20 km/h establecidos, ante lo cual la corriente será mayor a 4000 A. En ese caso, sería adecuado contar con mayor capacidad, por lo que se recomienda evaluar la posibilidad de instalar un cable 750 MCM adicional.

En el caso de la subestación principal Carrizal se debe revisar la sección de las canaletas de concreto para cables de 30 kV, pues en los planos ya existentes esta sección fue diseñada para dos conductores por fase. Es recomendable que el equipo encargado de la obra civil evalúe las posibilidades de aumentar la sección.

Debido al aumento del número de conductores por fase también deberá aumentarse el número de tubos PVC que comunican el sótano de cableado con las tanquillas que sirven como llegada de las canaletas de concreto

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alstom. About us. Disponible en <http://www.alstom.com/microsites/transport/about-us/>
[Consultado el 13/05/15]
- [2] CODELECTRA Y FONDONORMA, “FONDONORMA 200:2004 Código Eléctrico Nacional”, Caracas, Capitulo 100
- [3] CODELECTRA Y FONDONORMA, “FONDONORMA 200:2004 Código Eléctrico Nacional”, Caracas, Capitulo 392
- [4] Alstom Venezuela S.A. “Descripción General del Sistema Integral GdE” Documento MLT2-0.0-D200-CYP-000-05006-B
- [5] Diccionario de arquitectura y construcción. Disponible en www.parro.com.ar (consultada el 18/08/2015)
- [6] Catalogo Gas inergen. Disponible en https://www.ansul.com/en/us/DocMedia/F-200045_ES.pdf (consultado 19/08/2015).
- [7] Fraile Mora, Jesús. “Maquinas Electricas” Quinta edición. McGraw Hill, 2003
- [8] Alstom Venezuela S. A. “*Plan de Control de Documentación (Electrificación para la Tracción)*” Documento MLT2-0.0-M700-TRA-000-50091-A
- [9] Alstom Venezuela S. A. “*Especificación de interfaces entre el SI GDE y las Obras*” Documento: MLT2-0.0-D500-CYP-000-05011-E
- [10] Alstom Venezuela S. A. “*Especificaciones técnicas Electrificación de Tracción*” Documento: MLT2-GDE-CLII-11-00021-I

[11] Alstom Venezuela S. A. “*Bandejas Portacables Especificacion tecnica*” Documento: MCL5-3.0-D300-TRA-000-50007-A1

[12] Alstom Venezuela S. A. “*Especificación Técnica de Cables MT 30 kV*” Documento: MLT2-3.2-D300-TRA-000-50119-B

[13] Especificaciones técnicas Mando Eléctrico MR41E. Disponible en <http://www.sdcm.com>
[Consultado 29/07/15]

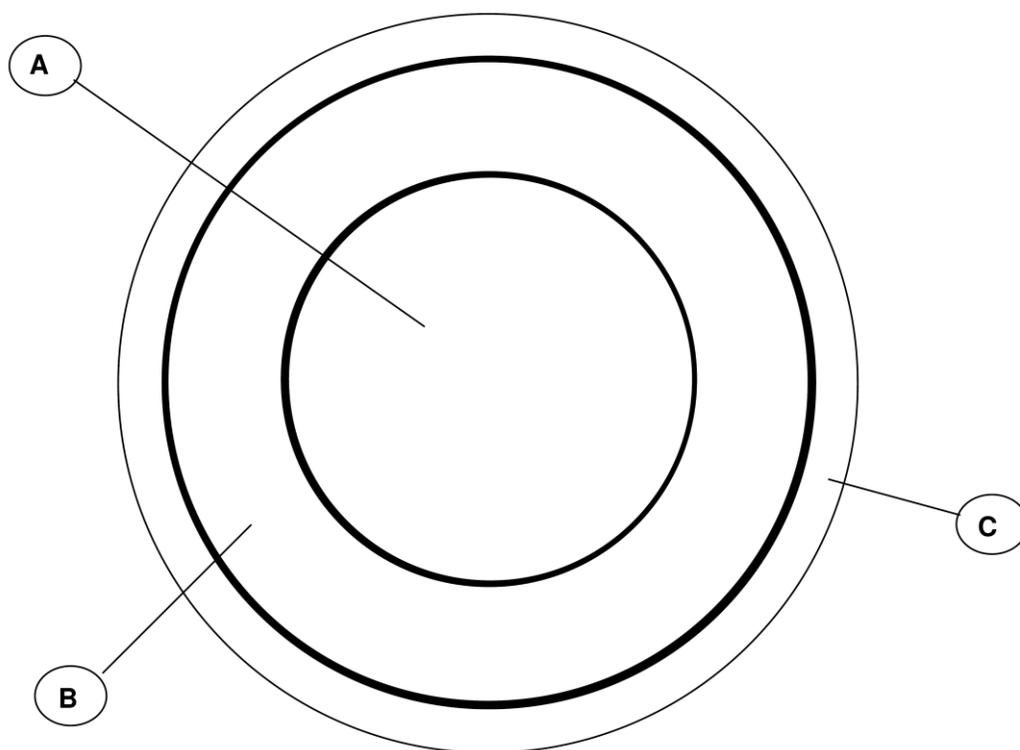
ANEXOS

ANEXO A
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO A.1

ESPECIFICACIONES TECNICAS CABLES 5 KV

Tabla n°1 - Características dimensionales y eléctricas cable 5 kVcc 1 x 750 MCM

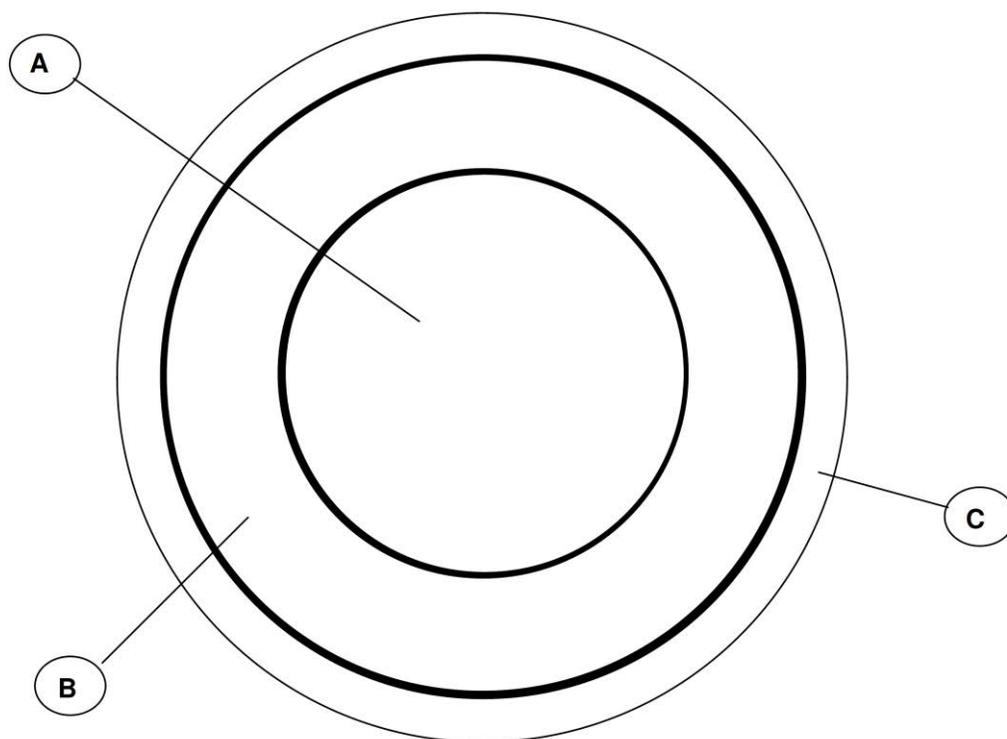


Item	Descripción	Diámetro mm (Aproximado)	Espesor mm (mínimo)
A	Conductor de cobre	24,9	
B	Aislamiento	30,0	2,3
C	Cubierta protectora externa	33,4	1,7

Tabla n°1 cable 5 kVcc 1 x 750 MCM (Sigue)

Tipo.....	unipolar no armado sin halógeno sin humo tóxico no propagador de la llama.
Voltaje	U _o : 750VCC tensión de servicio U : 5 KVCC tensión de aislamiento
Conductor.....	calibre 1x 750 MCM según la norma WC 74 - S93 – 639 cobre desnudo recocido redondo cableado clase B según la norma WC 74 - S93 – 639 de diámetro aproximativo : 24,9
cm	
Aislamiento.....	de tipo extruido - PR (XLPE) de espesor mínimo de 2,30 mm de diámetro aproximativo :
30,0mm	
Cubierta protectora externa	Compound sin halógeno de color negro de espesor de 1,7 mm de diámetro aproximativo : 33,4mm
Peso total aproximativo.....	3,81 kg/m
Radio mínimo de curvatura	320mm (en los carretes ó instalados)
Temperatura máxima	90°C servicio continuo 250°C en corto circuito
Resistencia máxima en corriente continua a 20°C	0,04630 ohm/km
Inductancia	0,105 mH/km

Tabla n°2 - Características dimensionales y eléctricas cable 5 kVcc 1 x 500 MCM



Item	Descripción	Diámetro mm (Aproximado)	Espesor mm (mínimo)
A	Conductor de cobre	23	
B	Aislamiento	27,6	2,3
C	Cubierta protectora externa	31	1,7

Tabla n°2 cable 5 kVcc 1 x 500 MCM (Sigue)

Tipo.....	Unipolar no armado sin halógeno sin humo tóxico no propagador de la llama.
Voltaje.....	Uo 750 Vcc tensión de servicio U : 5kVcc tensión de aislamiento
Conductor.....	Calibre 1x 500 MCM según la norma WC 74 - S93 – 639 cobre desnudo recocido redondo cableado clase I según la norma WC 74 - S93 – 639 de diámetro aproximativo : 23,0 cm
Aislamiento.....	de tipo extruido - PR (XLPE) de espesor mínimo de 2,30 mm de diámetro aproximativo : 27,6mm
Cubierta protectora externa	Compound sin halógeno de color negro de espesor de 1,7 mm de diámetro aproximativo : 31,0mm
Peso total aproximativo.....	3,05 kg/m
Radio mínimo de curvatura.....	270 mm (en los carretes ó instalados)
Temperatura máxima	90°C servicio continuo 250°C en corto circuito

ANEXO A.2

ESPECIFICACIONES TECNICAS CABLES 30 KV

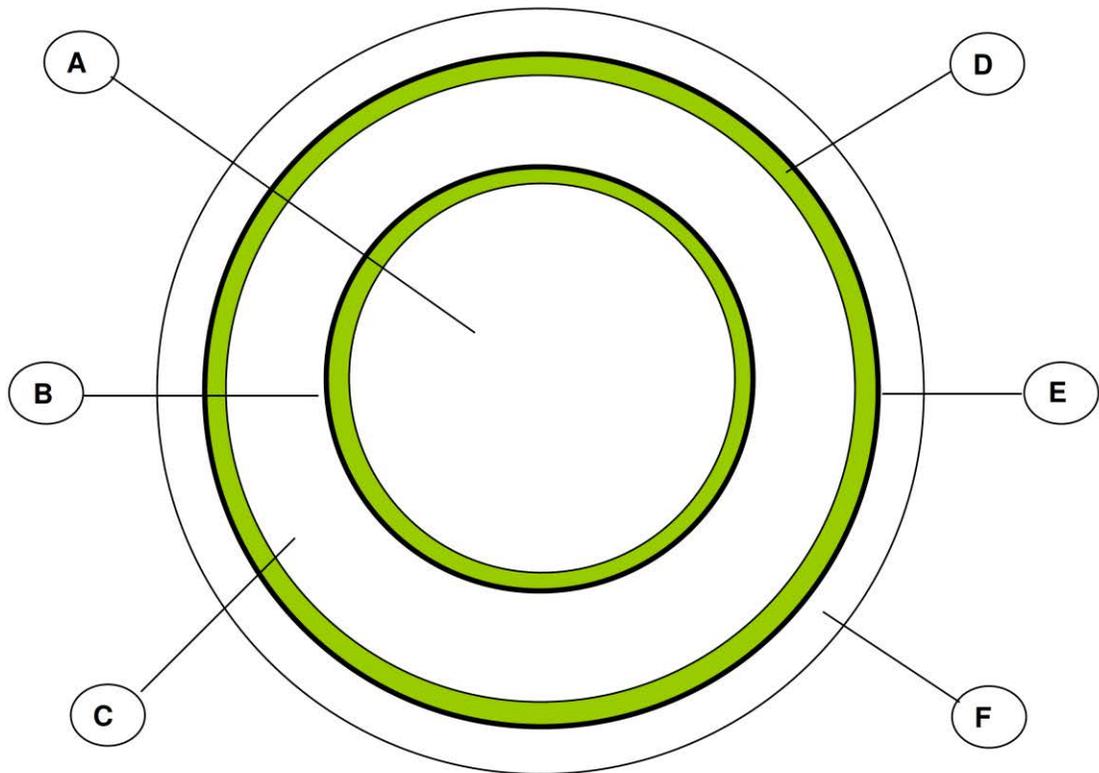


DOCUMENTO C2

Especificación Técnica Cables Eléctricos. Voltaje nominal : 30.000 voltios CA

Documento N° **MLT2-3.2-D300-TRA-000-50119-B**

Anexo N° 1 : Tabla n°1 - Características dimensionales y eléctricas cable 18/30 kV 1 x 750 MCM



Item	Descripcion	Diametro mm (Aproximado)	Espesor mm (Minimo)
A	Conductor de cobre	23,9	
B	Pantalla sobre el conductor		0,6
C	Aislamiento	41,5	8,0
D	Semi conductor tipo extruido		0,6
E	Cinta de cobre		0,1
F	Cubierta protectora externa	50,2	2,5

Tabla n°1 cable 18/30 kV 1 x 750 MCM (Sigue)

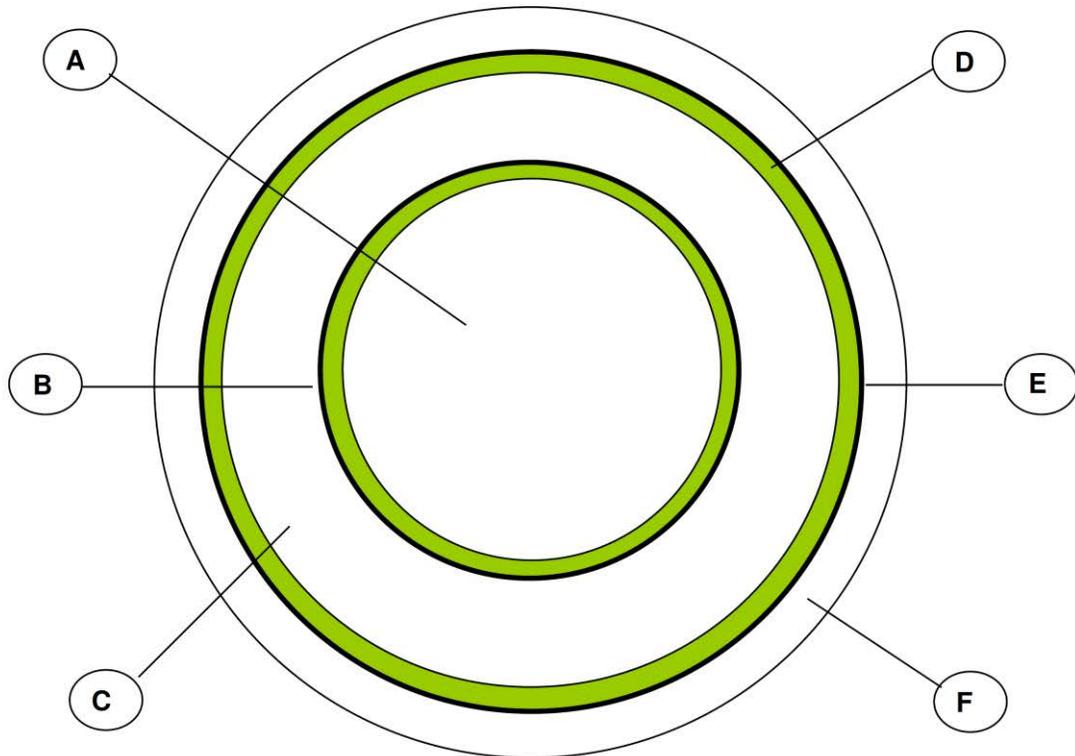
Tipo.....	unipolar no armado sin halógeno sin humo tóxico no propagador de la llama.
Voltaje.....	U : 30 kV : entre conductores Uo : 18kV entre conductor y pantalla Um : 36 kV entre conductores, maxi. de utilización
Conductor.....	calibre 1 x 750 MCM según la norma WC 74 - S93 – 639 cobre desnudo recocido redondo cableado clase B según la norma WC 74 - S93 – 639, de diametro aproximado 23,9 cm
Pantalla sobre el conductor	tipo extruído de espesor aproximado de 0,6 mm
Aislamiento.....	de tipo extruído - PR (XLPE) de espesor minimo de 8,0 mm
	de diametro aproximado : 41,5 mm

Tabla n°1 cable 18/30 kV 1 x 750 MCM (Sigue)

Pantalla sobre el aislamiento.....	semi conductor tipo extruído	de espesor de 0,60 mm aplicado directamente sobre el aislamiento cinta de cobre aplicada sobre el semi conductor de espesor de 0,10 mm
Cubierta protectora externa	Compound sin halógeno de espesor de 2,3 mm de diametro aproximativo :	50,2 mm
Peso total aproximado.....	5,14 kg/m	
Radio minimo de curvatura.....	501 mm (en los carretes ó instalados) 1002 mm (durante la instalación)	
Temperatura máxima	90 °C servicio contínuo 250 °C en corto circuito	
Resistencia máxima en corriente contínua a 20 °C.....	0,04720 ohm/km	
Resistencia máxima en corriente alterna a 90 °C	0,06459 ohm/km	
Inductancia	0,32 mH/km	
Inductancia a 60 Hz.....	0,12 ohm/km	
Capacidad.....	0,28 µF/km	
Impedancia a 60 Hz y 90 °C.....	0,12 ohm/km	



Anexo N° 2 : Tabla n°2 - Características dimensionales y eléctricas cable 18/30 kV 1 x 500 MCM



Item	Descripcion	Diametro mm (Aproximado)	Espesor mm (Minimo)
A	Conductor de cobre	19,5	
B	Pantalla sobre el conductor		0,6
C	Aislamiento	36,8	8,0
D	Semi conductor tipo extruido		0,6
E	Cinta de cobre		0,1
F	Cubierta protectora externa	44,8	2,3

Tabla n°2 cable 18/30 kV 1 x 500 MCM (Sigue)

Tipo.....	unipolar no armado sin halógeno sin humo tóxico no propagador de la llama.
Voltaje.....	U : 30 kV : entre conductores Uo : 18kV entre conductor y pantalla Um : 36 kV entre conductores, maxi. de utilización
Conductor.....	calibre 1 x 500 MCM según la norma WC 74 - S93 – 639 cobre desnudo recocido redondo cableado clase B según la norma WC 74 - S93 – 639 de diametro aproximado 19,5 cm
Pantalla sobre el conductor	tipo extruído de espesor aproximado de 0,6 mm
Aislamiento.....	de tipo extruído - PR (XLPE) de espesor minimo de 8,0
mm	de diametro aproximado : 36,8mm

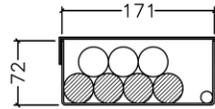
ANEXO A.3

ESPECIFICACIÓN CAPACIDAD DE BANDEJAS PORTACABLES CABLES 30 KV

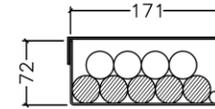
Cable 750MCM
Diámetro: 33.4 mm

Cable 500MCM
Diámetro: 31 mm

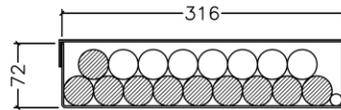
Cable 7 x 750MCM
Diseño: 4
Reserva: 3



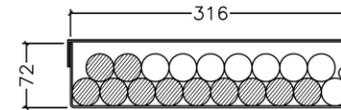
Cable 9 x 500MCM
Diseño: 5
Reserva: 4



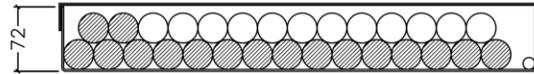
Cable 17 x 750MCM
Diseño: 10
Reserva: 7



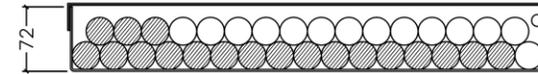
Cable 19 x 500MCM
Diseño: 11
Reserva: 8



Cable 29 x 750MCM
Diseño: 17
Reserva: 12



Cable 33 x 500MCM
Diseño: 19
Reserva: 14



ANEXO B
TABLAS DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICAS

ANEXO B.1

CONSUMO DE TRENES GENERACIÓN MCL1

Tracción 750 V (AW2)											
Tipo	Velocidad (km/h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4v	Esfuerzo (N)	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760
4v	Corriente (ARMS)	408,26	522,64	630	738,24	846,64	954,8	1063,76	1172,16	1281,36	1389,76
6v	Esfuerzo (N)	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640
6v	Corriente (ARMS)	612,39	783,96	945	1107,4	1270	1432,2	1595,6	1758,2	1922	2084,6
Tipo	Velocidad (km/h)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4v	Esfuerzo (N)	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760
4v	Corriente (ARMS)	1498,48	1606,72	1715,76	1824,4	1934,16	2042,24	2151,6	2260,72	2369,84	2478,64
6v	Esfuerzo (N)	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640
6v	Corriente (ARMS)	2247,7	2410,1	2573,6	2736,6	2901,2	3063,4	3227,4	3391,1	3554,8	3718
Tipo	Velocidad (km/h)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
4v	Esfuerzo (N)	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760
4v	Corriente (ARMS)	2587,28	2698,08	2806,56	2914,88	3025,44	3133,52	3244,08	3351,84	3462,32	3572,96
6v	Esfuerzo (N)	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640
6v	Corriente (ARMS)	3880,9	4047,1	4209,8	4372,3	4538,2	4700,3	4866,1	5027,8	5193,5	5359,4
Tipo	Velocidad (km/h)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
4v	Esfuerzo (N)	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	281760	274535
4v	Corriente (ARMS)	3680,4	3790,88	3901,36	4008,56	4119,04	4229,52	4336,4	4446,8	4557,28	4596,08
6v	Esfuerzo (N)	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	422640	411803
6v	Corriente (ARMS)	5520,6	5686,3	5852	6012,8	6178,6	6344,3	6504,6	6670,2	6835,9	6894,1
Tipo	Velocidad (km/h)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
4v	Esfuerzo (N)	267672	261143	254926	248997	243338	237931	232758	227806	223060	218508
4v	Corriente (ARMS)	4577,2	4563,6	4557,92	4554,96	4554,08	4553,52	4544,16	4543,84	4544,48	4544,88
6v	Esfuerzo (N)	401508	391715	382389	373496	365007	356896	349137	341709	334590	327762
6v	Corriente (ARMS)	6865,8	6845,4	6836,9	6832,4	6831,1	6830,3	6816,2	6815,8	6816,7	6817,3
Tipo	Velocidad (km/h)	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
4v	Esfuerzo (N)	214138	204603	195666	187279	179398	171985	165003	158421	152209	146340
4v	Corriente (ARMS)	4545,44	4478	4399,2	4303,76	4212,16	4114,16	4009,84	3899,44	3782,88	3660,16
6v	Esfuerzo (N)	321206	306905	293500	280919	269097	257977	247504	237631	228313	219511
6v	Corriente (ARMS)	6818,2	6717	6598,8	6455,6	6318,2	6171,2	6014,8	5849,2	5674,3	5490,2
Tipo	Velocidad (km/h)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
4v	Esfuerzo (N)	140791	135539	130564	125846	121370	117118	113077	109233	105573	102087
4v	Corriente (ARMS)	3532,48	3470,16	3403,92	3325,68	3251,68	3173,68	3091,84	3006,16	2916,24	2823,12
6v	Esfuerzo (N)	211187	203309	195846	188770	182054	175677	169615	163849	158360	153131
6v	Corriente (ARMS)	5298,7	5205,2	5105,9	4988,5	4877,5	4760,5	4637,8	4509,2	4374,4	4234,7
Tipo	Velocidad (km/h)	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
4v	Esfuerzo (N)	98764	95594	92568	89677	86914	84272	81743	79322	77003	74779
4v	Corriente (ARMS)	2726,16	2694,72	2661,52	2626,88	2590,32	2550,4	2509,84	2467,44	2423,04	2375,84
6v	Esfuerzo (N)	148146	143391	138851	134516	130371	126408	122615	118983	115504	112169
6v	Corriente (ARMS)	4089,2	4042,1	3992,3	3940,3	3885,5	3825,6	3764,8	3701,2	3634,6	3563,8
Tipo	Velocidad (km/h)	80									
4v	Esfuerzo (N)	72647									
4v	Corriente (ARMS)	2327,12									
6v	Esfuerzo (N)	108970									
6v	Corriente (ARMS)	3490,7									

Tipo 4V: Trenes con 4 vagones

Tipo 6V: Trenes con 6 vagones

ANEXO B.2

COMPUTOS METRICOS CABLES 750 VCC ZONA RENTAL Y 30 KV CARRIZAL

Tramo	Distancia [m]
Tramo Zona Rental – Disyuntor B11	35
Disyuntor B13 – Cupón de protección	236
Disyuntor B11 – Tramo Bello Monte	203
Seccionador SN1 – Caja inductiva CI-11	24
Seccionador SN2 – Caja inductiva CI-13	222

ANEXO B.3

ALTURAS DE SEGURIDAD A PARTES ACTIVAS NO RESGUARDADAS (C.E.N.)

Tabla 110.34 (E) Altura de Partes Activas No Resguardadas por Encima del Espacio de Trabajo.

Tensión Nominal Entre Fases	Elevación	
	m	pies
601-7500 V	2.8	9
7500-35000 V	2.9	9
Más de 35 kV	2.9+	9 p+
	9.5 mm/kV sobre 35	0.37 pg./kV sobre 35

p: pies pg: pulgadas

ANEXO C

CALCULOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE CABLES

CALCULO CONDUCTORES 750 VCC ESTACIÓN ZONA RENTAL

De acuerdo a las especificaciones de cables de 5 kV se sabe que un solo cable puede soportar 657 A. Si se colocan 6 cables iguales en paralelo la corriente total se divide por el número de cables. Asumiendo que por los cables circula su corriente nominal, la corriente equivalente al final de los cables será:

$$I_{eq} = 657 \text{ A} * 6 \quad \rightarrow \quad I_{eq} = 3942 \text{ A}$$

Cada cable posee su propia resistencia. Calculando la resistencia equivalente del arreglo de 6 cables en paralelo se obtiene lo siguiente:

$$R_{eq} = \frac{R_{cable}}{6} \quad \rightarrow \quad R_{eq} = \frac{0,0463 \text{ } \Omega / km}{6} \quad \rightarrow \quad R_{eq} = 7,7 \text{ m}\Omega / km$$

Un tren avanzando a una velocidad promedio de 20 km/h consume, de acuerdo a la tabla en Anexo B.1, una corriente de 3880,9 A. Si se divide entre el número de cables elegido se obtiene lo siguiente:

$$I = \frac{I_{tren}}{\# \text{ Cables}} \quad \rightarrow \quad I = \frac{3880,9}{6} \quad \rightarrow \quad I = 646,87 \text{ A}$$

Un caso diferente se tiene con los cables a ser conectados con el cupón de protección. Dado que solo se alimenta un vagón de los seis que poseen los trenes, la corriente máxima es un sexto de la corriente que alimenta a un tren avanzando a 20 km/h, asumiendo que la velocidad sea alcanzada para el momento en el que el tren pasa por el cupón. Calculando la corriente máxima consumida por el vagón se obtiene:

$$I_{vagon} = \frac{I_{tren}}{6} \quad \rightarrow \quad I_{vagon} = \frac{3942 \text{ A}}{6} \quad \rightarrow \quad I_{vagon} = 657 \text{ A}$$

Obsérvese que se ha tomado un 1,6% de sobrecarga intencionalmente para evaluar con el valor nominal de corriente soportable por el arreglo de cables seleccionado. Con esto se obtiene que la

corriente total a dividirse entre los 6 cables será igual al valor nominal de corriente de un solo cable.

Al seleccionar dos cables para la alimentación del cupón de protección la corriente total a circular por el arreglo será la siguiente:

$$I_{\text{cupon}} = \frac{I_{\text{vagon}}}{2} \quad \rightarrow \quad I_{\text{cupon}} = \frac{657 \text{ A}}{2} \quad \rightarrow \quad I_{\text{cupon}} = 328,5 \text{ A}$$

CAIDA DE TENSIÓN CONDUCTORES 750 VCC ESTACION ZONA RENTAL

Utilizando los cálculos métricos descritos en el anexo B.2, los datos de las especificaciones de los conductores descritos en el anexo A.1 y la expresión 3.2 del capítulo 3, se obtiene la siguiente tabla de resultados para los conductores de seccionamiento positivo:

Tabla C.2.1: Datos y resultado de caídas de tensión en circuito de seccionamiento positivo

Tramo	Tensión [V]	Resistencia [Ω/km]	I nominal [A]	Longitud [m]	Caída de Tensión [%]
Tramo Zona Rental – Disyuntor B11	750	0,0463	646,87	35	0,1398 %
Disyuntor B13 – Cupón de protección	750	0,0463	646,87	236	0,8106 %
Disyuntor B11 – Tramo Bello Monte	750	0,0463	646,87	203	0,9424 %

Para los conductores de seccionamiento negativo se obtiene lo siguiente:

Tabla C.2.2: Datos y resultado de caída de tensión para circuito de seccionamiento negativo

Tramo	Tensión [V]	Resistencia [Ω/kmz]	I nominal [A]	Longitud [m]	Caída de Tensión [%]
Seccionador SN1 – Caja inductiva CI-11	750	0,0463	646,87	24	0,0487 %
Seccionador SN2 – Caja inductiva CI-13	750	0,0463	646,87	222	0,4502 %

CALCULO DE CAIDA DE TENSION EN CONDUCTORES 30 KV EN S/E 69/30 KV CARRIZAL

Para el cálculo de caída de tensión de conductores 30 kV se utilizó la expresión 3.1 del capítulo 3. De la especificación técnica de cables 30 kV descritos en el anexo A.2 se conoce el valor por unidad de longitud de la impedancia de los cables, así como también se conoce el valor de la resistencia. Con estos datos es posible obtener el valor del ángulo de la impedancia y la reactancia inductiva.

El valor de la inductancia es la siguiente:

$$L = \frac{Z^2 - R^2}{\omega} \quad \rightarrow \quad L = \frac{\sqrt{0,14^2 - 0,09379^2}}{377} \quad \rightarrow \quad L = 0,2757 \text{ mH/km}$$

Luego, el valor de la reactancia inductiva será:

$$x = \omega L \quad \rightarrow \quad x = 377 * \left(0,2757 \frac{\text{mH}}{\text{km}}\right) \quad \rightarrow \quad x = 0,1039 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Con la resistencia y la reactancia puede hallarse el ángulo de la impedancia

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) \quad \rightarrow \quad \varphi = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{0,1039}{0,09379}\right) \quad \rightarrow \quad \varphi = 47,93^\circ$$

Con esto los únicos datos faltantes son los siguientes:

$$kVA_{3\phi} = 60000$$

$$kV_{LL} = 30$$

$LONG = 43 \text{ m}$ obtenido de los cálculos métricos otorgados por la empresa

Con esto, el resultado obtenido al emplear la expresión para cálculo de caída de tensión en circuitos c.a. es el siguiente:

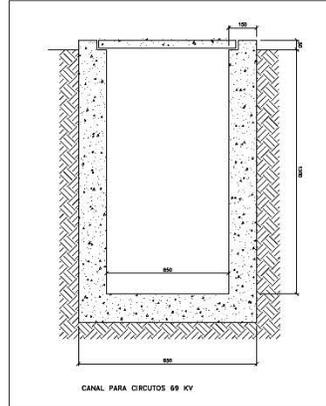
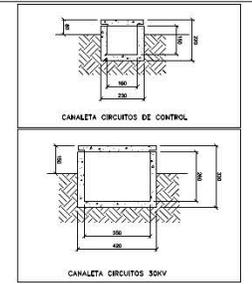
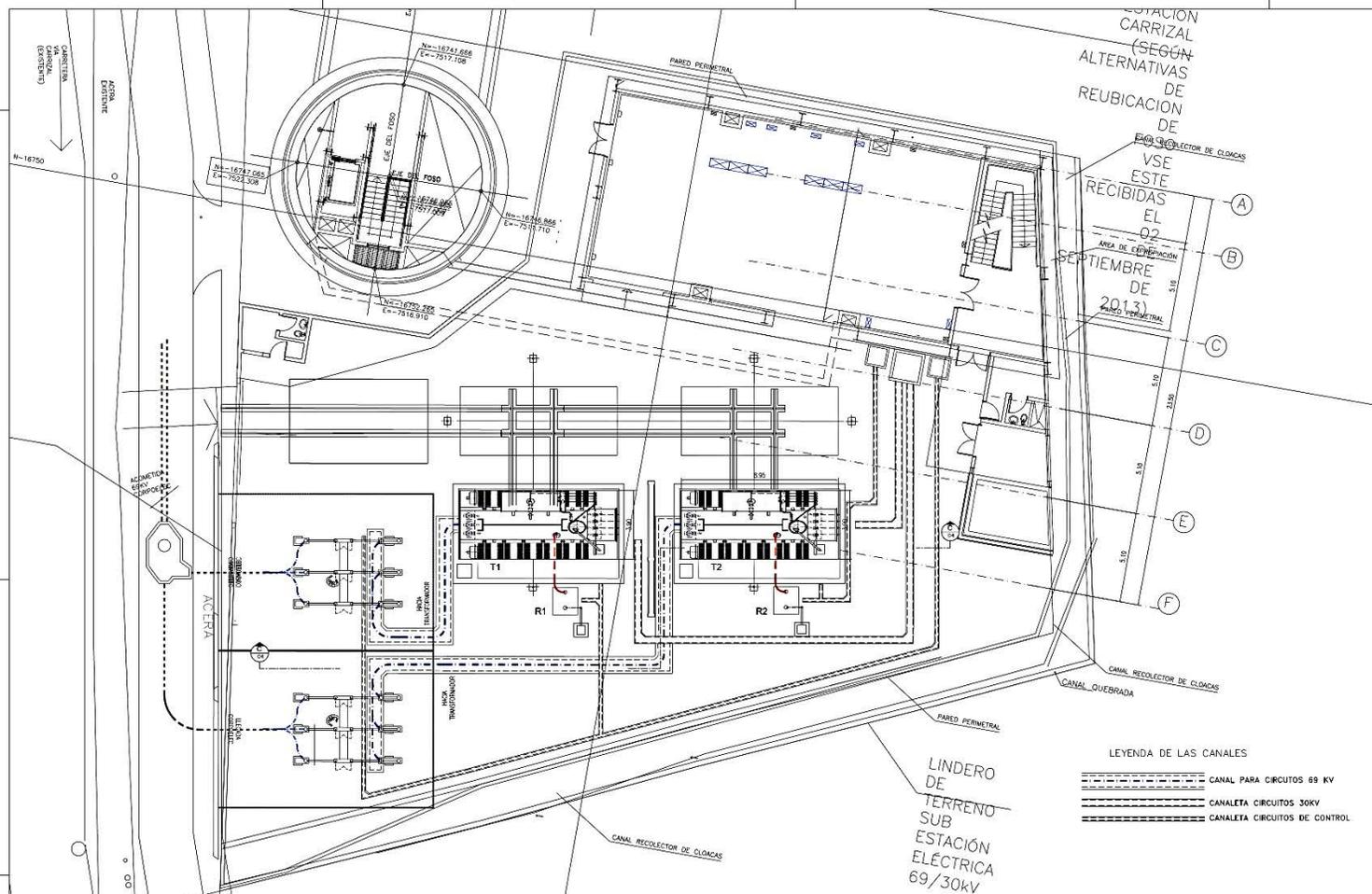
$kVA_{3\phi}$	kV_{LL}	$LONG \text{ [km]}$	$R \text{ [}\Omega/\text{km]}$	$X \text{ [}\Omega/\text{km]}$	ϕ	$\Delta V \text{ [%]}$
60000	30	0,043	0,09379	0,1039	47,93	0,0401

ANEXO D

DIAGRAMA UNIFILAR CIRCUITOS 750 VCC ESTACION ZONA RENTAL

ANEXO E

EJEMPLO IMPLANTACION DE EQUIPOS S/E 69/30 KV CARRIZAL



- LEYENDA DE LAS CANALES
- CANAL PARA CIRCUITOS 69 kV
 - CANALETA CIRCUITOS 30kV
 - CANALETA CIRCUITOS DE CONTROL

- LEYENDA DE CIRCUITOS
- CIRCUITO TRIFASICO 69kV - NIC (SUBTERRANEO)
 - CIRCUITO TRIFASICO 69kV (SUBTERRANEO)
 - CIRCUITO TRIFASICO 30kV (BANDEJA PORTACABLES)
 - CIRCUITO TRIFASICO 30kV (BANDEJA PORTACABLES)

NOTAS:
1.- DISTANCIA PREVISTA PARA EL TRANSFORMADOR, MODELO ALKARGO

MOD.	FECHA	POR	PRESENTADO	APROB.	DESCRIPCION
△	15/09/14	LASENUO	L.GONZALEZ	H.PEREZ	IMPLANTACION DE EQUIPOS EDIFICIO TECNICO
△	28/08/14	LASENUO	L.GONZALEZ	H.PEREZ	NUOVA DISPOSICION DE EQUIPOS
△	28/04/14	LASENUO	L.GONZALEZ	H.PEREZ	AJUSTES DE UBICACION DE EQUIPOS
△	24/04/14	LASENUO	L.GONZALEZ	H.PEREZ	ESCOTILLAS Y GALERIAS
△	23/04/14	LASENUO	L.GONZALEZ	H.PEREZ	EMISION INICIAL

CONSORCIO LINEA II

ALSTOM THALES

DESIGNADO	C.I.V.
LUIS ASENUO	59.589
DIBUJADO	C.I.V.
MAYERLING A DOMINGUEZ S	
REVISADO	C.I.V.
WILLEN PASTRAN	34.570
RESPONSABLE	C.I.V.
HONORATO PEREZ	26.077
FECHA	ABRIL 2014

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA TRANSPORTE TERRESTRE

C.A. METRO LOS TEQUES
GERENCIA DE CONSTRUCCION

REVISADO _____ APROBADO _____

CONSORCIO LINEA II

REVISADO _____ APROBADO _____

LINEA 2 : ALI PRIMERA - SAN ANTONIO

ESTACION CARRIZAL
SUBESTACION CARRIZAL 69/30 kV

PROPUESTA
(CON TRANSFORMADOR ALKARGO)

IMPLANTACION Y RECORRIDO
DE CIRCUITOS
PLANTA PATIO

ARCHIVO:
MD-12-000-50-70-MPOI-44-MEJORA01 1801 PLN02

ESCALA:
H= 1/125
V=

CONTRATO N° - SECCION N°
MLTe/012-06

LAMINA N° - MODIFICACION N°
MLT2-32-0400-TRA-PCA-MPOI-AA

PAGINA:
03