

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA ESTACIÓN
AYACUCHO DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LOS TEQUES**

Presentado ante la ilustre
Universidad de Venezuela
Por el Br. Vicente R. Borjas M.
Para optar por el título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA ESTACIÓN AYACUCHO DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LOS TEQUES

Tutor Industrial: Ing. Ruben Machado.

Profesor Guía: Ing. Julián Pérez.

Presentado ante la ilustre
Universidad de Venezuela
Por el Br. Vicente R. Borjas M.
Para optar por el título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

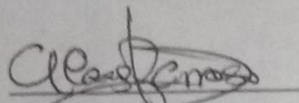
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

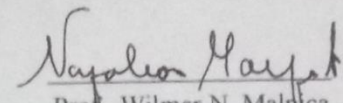
Caracas, 27 de marzo de 2017

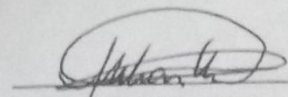
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Vicente R. Borjas M., titulado:

“DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA ESTACIÓN AYACUCHO DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LOS TEQUES”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Alexis Barroso
Jurado


Prof. Wilmer N. Malpica
Jurado


Prof. Julian Pérez
Prof. Guía

Borjas M., Vicente R.

**DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA ESTACIÓN
AYACUCHO DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LOS TEQUES**

Prof. Guía: Ing. Julián Pérez. Tutor Industrial: Ing. Ruben Machado. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Empresa: Edistudios C.A. 2017.

Palabras Claves: Estación del metro; Sistema de iluminación; Sistema de Tomacorrientes; Sistema de Fuerza de baja tensión; Tierra; Conductores; Cálculo de caída de tensión; DiaLux; Etap; Corriente de cortocircuito.

Resumen. El sistema de transporte metropolitano ha venido ampliándose con la construcción de nuevas estaciones, una muestra de esta expansión es la estación de pasajeros Ayacucho que forma parte de la empresa Metro Los Teques C.A. Para garantizar la operatividad de la mencionada estación es necesario que cuente con una serie de sistemas eléctricos, en tal sentido surgió la necesidad de llevar a cabo los proyectos de los sistemas de tomacorrientes, iluminación, fuerza de baja tensión y puesta a tierra. En el proceso de diseño de los mencionados sistemas se efectuaron los cálculos que permitieron el dimensionamiento de los diferentes partes que les conforman. En el caso del diseño de los sistemas de tomacorrientes e iluminación se definió la ubicación de las salidas, según las normas de proyecto de la empresa, y posteriormente se efectuó el dimensionamiento de los conductores asociados a los sistemas empleando para ello los criterios de capacidad de conductor, caída de tensión y capacidad de carga. Particularmente en el caso del sistema de iluminación se utilizó la aplicación DiaLux para determinar la distribución de las luminarias en los diferentes ambientes de la estación. En el diseño del sistema de fuerza de baja tensión se realizó el dimensionamiento de los circuitos sub-alimentadores de las cargas especiales, aplicando los mismos criterios que para los sistemas de tomacorrientes e iluminación, sin embargo también se aplicó el criterio de cortocircuito. Para el diseño del sistema de puesta a tierra se calculó el dimensionamiento de la malla de puesta a tierra mediante la utilización de la aplicación ETAP.

INDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACION.....	iii
INDICE GENERAL.....	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
SIGLAS Y ACRONIMOS.....	xi
INTRODUCCION	xii
CAPITULO I	
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
CAPITULO II	
2.1 POTENCIA DEMANDADA POR UNA INSTALACIÓN	3
2.1.1 DEMANDA MÁXIMA Y CARGA INSTALADA.....	3
2.1.2 FACTOR DE UTILIZACIÓN.....	3
2.1.3 FACTOR DE DEMANDA.....	4
2.1.4 FACTOR DE DIVERSIDAD.....	4
2.2 ALIMENTADORES.....	4
2.3 CIRCUITO RAMAL	4
2.4 CANALIZACIÓN	5
2.5 CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	5
2.5.1 MATERIALES	5
2.5.2 AISLAMIENTO	5
2.5.3 CALIBRE	6
2.5.3.1 CAPACIDAD DE CORRIENTE.....	6
2.5.3.2 CAÍDA DE TENSIÓN.....	6
2.5.3.3 CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO.....	7
2.5.3.4 CONDUCTOR DE NEUTRO	7

2.5.3.5	CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA	8
2.6	BANDEJAS PORTA CABLES	10
2.7	CAJAS DE PASO Y CAJETINES	10
2.8	PROTECCIONES	10
2.9	NIVELES DE TENSIÓN.....	11
2.10	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	11
2.10.1	MALLA DE PUESTA A TIERRA	11
CAPITULO III		
3.1.	DESCRIPCION DE LA ESTACION	13
3.2	DESCRIPCION DEL SISTEMA DE ELECTRIFICACION AUXILIAR	13
3.3	NORMAS DE METRO LOS TEQUES	14
3.3.1	CANALIZACIONES.....	14
3.3.2	NIVELES DE TENSION	15
3.3.3	FACTORES DE DEMANDA	15
3.3.4	ILUMINACIÓN	16
3.3.5	SISTEMA PUESTA A TIERRA	17
3.3.6	SISTEMA DE VENTILACION Y BOMBEO	17
3.3.7	CRITERIOS DE UBICACIÓN	18
3.3.7.1	SISTEMA DE TOMACORRIENTES	18
3.3.7.2	SISTEMA DE ILUMINACIÓN	19
CAPITULO IV		
4.1	CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	20
CAPITULO V		
5.1	ESTUDIO DE CARGAS	27
5.2	DIMENSIONAMIENDO DEL TRANSFORMADOR Y DEL GRUPO GENERADOR	34
5.2.1	TRANSFORMADORES	35
5.2.1.1	CRITERIOS	35
5.2.1.2	DIMENSIONAMIENTO	36
5.2.2	GRUPO GENERACION	37
5.2.2.1	DIMENSIONAMIENTO.....	38

CAPITULO VI	
6.1	ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO 39
6.2	DIMENSIONAMIENTO DE CIRCUITOS RAMALES, SUB-ALIMENTADORES Y COORDINACION DE PROTECCIONES 42
6.2.1	CRITERIOS GENERALES 42
6.2.2	CRITERIOS ESPECÍFICOS 48
6.2.2.1	SISTEMA DE TOMACORRIENTES 48
6.2.2.2	SISTEMA DE ILUMINACIÓN 49
6.2.2.3	SISTEMA DE FUERZA DE BAJA TENSIÓN 49
6.2.3	CÁLCULO MODELO 49
6.2.3.1	SISTEMA DE TOMACORRIENTES 49
6.2.3.2	SISTEMA DE ILUMINACIÓN 52
6.2.3.3	SISTEMA DE FUERZA DE BAJA TENSION 55
CAPITULO VII	
7.1	SISTEMA PUESTA A TIERRA 58
7.1.1	CRITERIOS DE DISEÑO 58
7.1.2	RESISTIVIDAD DEL SUELO 59
7.1.3	METODOLOGIA DE CÁLCULO 59
7.1.4	IMPLEMENTACION DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA... 64
CAPITULO VIII	
8.1	DESARROLLO DE DOCUMENTACION 66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68	
BIBLIOGRAFIA 70	
ANEXO I 71	
ANEXO II 73	
ANEXO III 83	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Calibre Mínimo de los Conductores de Puesta a Tierra de los Equipos y Circuitos Ramales	8
Tabla 2 Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra para Sistemas de Corriente Alterna.....	9
Tabla 3 Factor de demanda.	15
Tabla 4 Niveles de iluminación	16
Tabla 5 Equipos de sistema de bombeo	17
Tabla 6 Equipos de sistema de ventilación menor	18
Tabla 7 Tabla de carga del tablero de tomacorrientes 1.....	27
Tabla 8 Tabla de carga del tablero de tomacorrientes 2.....	28
Tabla 9 Tabla de distribución de circuitos ramales del tablero de tomacorrientes 1	29
Tabla 10 Tabla de distribución de circuitos ramales del tablero de tomacorrientes 2	30
Tabla 11 Tabla de distribución y carga de circuitos ramales del tablero de iluminación 1.....	31
Tabla 12 Tabla de distribución y carga de circuitos ramales del tablero de iluminación 2.....	32
Tabla 13 Tabla de distribución y carga de circuitos ramales del tablero de iluminación de emergencia.....	33
Tabla 14 Tabla de carga del sistema de fuerza de baja tensión.	34
Tabla 15 Tabla de estudio de demanda de la barra 1.	36
Tabla 16 Tabla de estudio de demanda de la barra 2.	37
Tabla 17 Tabla de dimensionamiento de transformador.....	37
Tabla 18 Tabla de dimensionamiento de grupo generador.	38
Tabla 19 Tabla de resultados de corrientes de cortocircuito del sistema.....	42
Tabla 20 Tabla de resistencias y reactancias de los conductores retardante de llama de la empresa ARISTONVCAVI.....	44
Tabla 21 Tabla de cálculo de corriente a tierra.	63

Tabla 21 Tabla de comparación de tensiones de paso y tensiones de toque..... 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Creación de archivo correspondiente al ambiente M-37.	20
Figura 2 Ingreso de dimensiones del ambiente M-37.	21
Figura 3 Espacio de trabajo para el ambiente M-37.	21
Figura 4 Modificación de espacio de trabajo	22
Figura 5 Representación en 3D del espacio de trabajo del ambiente.....	22
Figura 6 Selección de tipo de luminaria.....	23
Figura 7. Primera aproximación de distribución de luminarias.	23
Figura 8 Ingreso de factor de mantenimiento.	24
Figura 9 Ingreso de altura de plano de trabajo.....	24
Figura 10. Diagrama de isolíneas del ambiente M-37.	25
Figura 11. Optimización de aproximación.....	25
Figura 12 Diagrama de isolíneas para la distribución de luminarias definida.	26
Figura 13 Diagrama de isolíneas en 3D para la distribución de luminarias definida...	26
Figura 14 Editor de estudio de cortocircuito.....	39
Figura 15 Diagrama unifilar de la estación Ayacucho.....	41
Figura 16. Portada de memoria de Metro de los Teques.....	67

SIGLAS Y ACRONIMOS

CEN: Código Eléctrico Nacional.

COVENIN: Comisión Venezolano de Normas Industriales.

IEC: International Electrotechnical Comission.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

NFPA: National Fire Protection Association.

AWG: American Wire Gauge (Calibre de Conductor Americano).

UL: Underwriters Laboratories Inc.

INTRODUCCION

Las ciudades del mundo cambian continuamente, adaptándose de forma orgánica a las realidades de los países. En muchas situaciones los centros de trabajo se encuentran muy lejos de las áreas urbanas, obligando a los pobladores de estas áreas a desplazarse largas distancias diariamente para asistir a sus respectivos puestos de trabajo. La ciudad de Caracas no es una excepción. Actualmente Caracas recibe, prácticamente todos los días de la semana, personas provenientes de las regiones que le circundan, tales como: Guarenas, Guatire, La Guaira, La Victoria y Los Teques. Tal situación obliga a las autoridades estatales a desarrollar sistemas de transporte público que ofrezcan desplazamientos eficientes a las personas que deben movilizarse día a día.

Un ejemplo de estas iniciativas en transporte público lo constituye el desarrollo del proyecto para las líneas uno (1) y dos (2) del Metro de Los Teques. La Línea 1 comprende el tramo existente entre la estación Las Adjuntas, del Metro de Caracas, y la estación Alí Primera que forma parte del Metro de Los Teques. Por otra parte la Línea 2 contempla el recorrido entre la Estación Alí Primera ubicada en la ciudad de Los Teques hasta San Antonio, con la construcción de un importante número de estaciones de pasajeros entre esos dos puntos. Actualmente el tramo que conforma a la Línea 1 de Metro Los Teques se encuentra conformado únicamente por dos estaciones mediante las cuales se hace un recorrido sin paradas entre la Las Adjuntas y Alí Primera, pasando a través de populosas comunidades que no cuentan con un servicio de transporte efectivo.

Con la finalidad de dar respuesta a las necesidades de movilidad de las comunidades existentes entre los puntos de los extremos que constituyen a la Línea 1 del Metro de Los Teques, se ha contemplado la construcción de una estación que facilite el acceso a esas comunidades al sistema de transporte Metro. Esta estación de

pasajeros se ha denominado estación Ayacucho y la misma se encontrará ubicada en el barrio Ayacucho, paralela al recorrido de la carretera Las Adjuntas- Los Teques. La estación Ayacucho, al igual que todas las estaciones de pasajeros del sistema Metro, constituirá una obra compleja que requerirá para su adecuada operación del funcionamiento ininterrumpido de una serie de sistemas tales como: control de trenes, extinción de incendio, detección de incendio, elevación, CCTV, anuncios al público, información visual, telefonía, radio y redes de datos. El funcionamiento de todos los sistemas citados requiere de una fuente de energía eléctrica eficiente, que sea capaz de mantenerlos en operación de manera ininterrumpida, confiable y segura. Por esta razón resulta necesario el desarrollo de un proyecto que contemple las particulares necesidades de una estación de pasajeros de un sistema metropolitano de transporte y que al mismo tiempo considere las normativas internacionales, nacionales y las propias de la empresa en su creación.

En este sentido se propone el diseño del sistema de electrificación auxiliar y el sistema de puesta a tierra para la estación Ayacucho del Metro de Los Teques el cual consta de las dos estructuras antes mencionadas. El proyecto preverá el diseño del sistema de canalización, definiendo las rutas y dimensiones de las canalizaciones que se distribuirán por la estación. Así mismo contemplará el sistema de fuerza de baja tensión de la estación, en el cual se definirá el dimensionamiento y distribución de las protecciones eléctricas, de los tableros eléctricos y los conductores para cada uno de los circuitos. De forma semejante se proyectará lo relativo a los sistemas de tomacorriente e iluminación. Finalmente el desarrollo del diseño del sistema de puesta a tierra a la estación, el cual considerará las particulares necesidades de la misma.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar del sistema eléctrico para la estación Ayacucho de la línea 1 del Metro de los Teques.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar las normas y criterios de diseño empleadas por la empresa Metro de Caracas para definir los requerimientos de los sistemas de puesta a tierra, fuerza de baja tensión, tomacorrientes e iluminación, en sus estaciones de pasajeros y características resistivas del suelo sobre el cual se construirá la estación Ayacucho
- Realizar estudio de cargas y estudio de demanda de la estación Ayacucho.
- Calcular el sistema puesta a tierra de la estación Ayacucho.
- Coordinar las protecciones de baja tensión de la estación Ayacucho.
- Calcular sistema de iluminación interior de la estación Ayacucho.
- Desarrollar los planos, las memorias descriptivas y de cálculo correspondientes a los sistemas de puesta a tierra, fuerza de baja tensión, tomacorriente e iluminación, de la estación Ayacucho.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La estación Ayacucho se encontrará ubicada entre las estaciones Las Adjuntas y Alí Primera y su objetivo principal será el de ofrecer una alternativa de transporte a las comunidades existentes en ese tramo. La estación tendrá un área total de ocho mil metros cuadrados (8000m²) que se encontrarán distribuidos en dos estructuras fundamentales, las cuales estarán interconectadas. Una de ellas será el Edificio Técnico de la Estación, el cual contará con los niveles Galería, Mezzanina, Intermedio, Calle y Sótano. En cada uno de los niveles señalados se encontrarán ubicados los ambientes operativos y técnicos de la Estación. La otra estructura estará conformada por la Mezzanina, el Andén y el Sub Andén. La conexión entre ambas estructuras tendrá efecto a través de los niveles Mezzanina y Galería.

La operación de la estación Ayacucho requerirá del funcionamiento de una serie de sistemas como lo son: el sistema de bombas contra incendio, el sistema de bombas de agua potable, el sistema de bombas de drenaje, el sistema de control de trenes, el sistema de ventilación menor, el sistema de CCTV, el sistema de anuncios al público, el sistema de información visual, sistema de iluminación, sistema de tomacorrientes, entre otros. Todos los sistemas señalados anteriormente requieren contar con un suministro de energía eléctrica confiable, que sea capaz de garantizar su funcionamiento en casi cualquier situación.

Por lo anterior resulta necesaria la elaboración de un proyecto que sirva de guía para la implementación del sistema eléctrico de la estación, el cual deberá ofrecer altas condiciones de confiabilidad y seguridad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 POTENCIA DEMANDADA POR UNA INSTALACIÓN

Es la base para el desarrollo de un proyecto de instalaciones eléctricas. Con las potencias demandadas por cada carga se obtiene una aproximación del comportamiento de la carga total conectada al sistema, tomando en cuenta factores que consideran el uso simultáneo de cada carga y la diversidad de su utilización.

2.1.1 DEMANDA MÁXIMA Y CARGA INSTALADA

En una instalación eléctrica la demanda máxima en un instante de tiempo es equivalente a la máxima coincidencia de cargas operando simultáneamente. La carga instalada corresponde suma de los valores nominales de consumo de todas las cargas conectadas. En base a este dato se dimensionan los valores nominales de los equipos de protección y los calibres de acometidas o alimentadores. Este valor viene reflejado generalmente en Kilovoltios-ampere, Caballos de Potencia o vatios.

2.1.2 FACTOR DE UTILIZACIÓN

En condiciones de operación normal, la potencia consumida por una carga es algunas veces menor que la indicada como su potencia nominal, y para su cálculo se define el factor de utilización como el cociente entre la potencia efectivamente demandada por la carga, y la potencia nominal de la misma.

2.1.3 FACTOR DE DEMANDA

Corresponde a la demanda máxima de la instalación entre la carga total conectada. Este valor es adimensional y en la mayoría de los casos es menor a uno.

2.1.4 FACTOR DE DIVERSIDAD

Es la relación de la sumatoria de las demandas máximas individuales de un grupo de cargas y la demanda máxima del sistema eléctrico instalado. Éste es un valor adimensional y mayor o igual a uno.

2.2 ALIMENTADORES

Son elementos conductores usados para suplir energía eléctrica desde una fuente hasta una carga. Para su selección se toman en cuenta sus propiedades eléctricas, los factores de cortocircuito, capacidad térmica y caída de tensión. Estos factores deben garantizar un eficiente transporte de energía confiable y segura.

2.3 CIRCUITO RAMAL

Es el sistema cerrado que conecta eléctricamente la fuente de energía y el conjunto receptor de ella, según el CEN lo conforman los conductores del circuito entre el último dispositivo de sobrecorriente que protege el circuito y la(s) salida(s); y constituye el elemento básico de la instalación eléctrica pues, a partir de su diseño, se define en pasos sucesivos todo el sistema eléctrico.

De esta forma, al ubicar las cargas que van a ser alimentadas, se trazan los circuitos ramales que van a suplir todas las salidas, agrupando las cargas de la forma más conveniente y determinando las necesidades que deben cumplir los alimentadores.

2.4 CANALIZACIÓN

Según el CEN, sección 100, se define como el canal cerrado de materiales metálicos o no, diseñado para sostener conductores, cables o barras. Estas pueden ser a la vista, embutidas (no accesible en forma directa), ocultas (accesibles en toda su extensión) o subterráneas.

2.5 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Se define como el material metálico adecuado para el transporte de corriente eléctrica. Los conductores pueden tener formas de alambre, cable, varillas, platinas, tubos o barras.

2.5.1 MATERIALES

Los conductores pueden tener diferentes formas: platinas, varillas, barras rectangulares, barras circulares o su presentación más común, en hilos. La conductividad está determinada por la composición del material o aleación, generalmente se usa platino, cobre, aluminio, hierro, etc. El aluminio y el cobre son los más usados para instalaciones eléctricas por ofrecer una buena conductividad a un precio razonable. Aun cuando el aluminio presenta una opción viable por sus costos, conductividad y peso, el cobre es preferido además de por su conductividad, por sus condiciones de resistividad y maleabilidad.

2.5.2 AISLAMIENTO

La función del aislamiento es encerrar la corriente eléctrica en el material conductor, evitando contactos involuntarios de partes energizadas del cable. Esta característica básica es fácil de alcanzar, lo importante es seleccionar un cable con el aislamiento y cubierta correcta para la aplicación requerida, ya que el revestimiento

queda expuesto a agentes ambientales, envejecimiento, o cualquier otro factor que pueda alterar su composición y producir deterioro.

Las denominaciones de los aislamientos varían dependiendo de su utilización o tipo de fabricante, por ejemplo, uno de los más comunes en la industria es el material termoplástico se identifica con la letra T, y su designación según la norma UL (Underwriters Laboratories Inc.) se indica como: TW, THW, THHN, TTU. Existen también tipos de aislamiento con polímeros que se identifican con la letra R, entre ellos: RW, RH, RHH, RHW.

2.5.3 CALIBRE

Los conductores se identifican por el número del calibre, tomando como referencia generalmente la designación AWG (American Wire Gauge). Los tamaños de los conductores se identifican por su sección en milímetros cuadrados. En caso de tener un área mayor a 107 mm² (Cable AWG 4/0) se utiliza otra denominación conocida como “Circular Mil” (CM) que se define como el área de la sección normal de un conductor que posee una milésima de pulgada de diámetro.

2.5.3.1 CAPACIDAD DE CORRIENTE

Se define como la magnitud de corriente (Ampere) que un conductor puede transportar continuamente, sin exceder su temperatura de operación. A este valor se le conoce como corriente nominal (ampacidad).

2.5.3.2 CAÍDA DE TENSIÓN

A medida que la corriente eléctrica recorre la sección del conductor, este ofrece, debido a sus propiedades físicas, una resistencia que dependerá de la sección y

la longitud del cable. Esta resistencia produce a su vez pérdidas de energía en el trayecto alimentado.

El CEN establece, en la sección 215.2 (A)(3) NOTA N°2 “Los conductores de circuitos alimentadores tal como están definidos en la sección 100, tendrán un calibre que evite una caída de tensión superior al 3% en la salida más lejana de potencia, calefacción, iluminación o cualquier combinación de estas cargas y donde la caída de tensión máxima en ambos circuitos alimentadores y ramales hasta la salida más lejana no supere el 5%, proveerán una eficiencia de funcionamiento razonable”

2.5.3.3 CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO

Cuando se presenta un corto circuito se produce un aumento significativo de la corriente en muy poco tiempo. Las protecciones deberán despejar la falla en un tiempo “t” una vez reconocido este aumento. El conductor debe ser seleccionado de tal forma que soporte la corriente de cortocircuito durante el tiempo “t”.

2.5.3.4 CONDUCTOR DE NEUTRO

Para circuitos de 2 hilos (fase y neutro) y 3 hilos (2 fases y neutro), el calibre de los conductores de fase y neutro serán iguales, mientras que para los circuitos trifásicos (4 hilos), según el CEN en su sección 220.61, el calibre del neutro será un calibre menor al calibre de las fases, hasta una corriente de 200 A. Si la corriente de las fases sobrepasa los 200 A, se tomará como corriente de neutro la sumatoria de los primeros 200 A al 100% y el resto al 70%. Esta corriente será utilizada tanto para la selección del calibre por capacidad de corriente como por caída de tensión.

El CEN, en su sección 310.15 establece que la capacidad de corriente del neutro será la misma que la del conductor de fase para la parte de carga que

corresponda a cargas no lineales alimentadas desde un sistema trifásico de cuatro hilos conectados en estrella.

2.5.3.5 CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA

En la sección 250.122 del CEN se establecen los calibres mínimos de los conductores de puesta a tierra de equipos y canalizaciones en circuitos ramales. En la tabla 1 se muestra los valores antes mencionados.

Tabla 1 Calibre Mínimo de los Conductores de Puesta a Tierra de los Equipos y Circuitos Ramales

Régimen o Ajuste máximo de dispositivos de sobrecorriente automáticos conectados del lado de la alimentación	Calibre del Conductor de Puesta a Tierra	
	Cobre	Aluminio o Aluminio Recubierto de Cobre
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

El CEN en la sección 250.66, hace referencia al calibre del conductor del electrodo de tierra para corriente alterna indicando los valores en la tabla colocada a continuación:

Tabla 2 Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra para Sistemas de Corriente Alterna

Calibre del Mayor Conductor Activo de la Acometida o Área Equivalente de Conductores en Paralelo (AWG/kcmil)		Calibre del Conductor del Electrodo de Tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o Aluminio Revestido en Cobre	Cobre	Aluminio o Aluminio Revestido en Cobre
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6	4
2/0 o 3/0	4/0 o 250	4	2
Sobre 3/0 hasta 350	Sobre 250 hasta 500	2	1/0
Sobre 350 hasta 600	Sobre 500 hasta 900	1/0	3/0
Sobre 600 hasta 1100	Sobre 900 hasta 1750	2/0	4/0
Sobre 1100	Sobre 1750	3/0	250

2.6 BANDEJAS PORTA CABLES

Son el conjunto de unidades o secciones que, junto con sus accesorios, conforman una estructura rígida para soportar cables. Existen abiertas o cerradas, modelo escalera o con fondo de metal expandido o metálico. Según la sección 366 del CEN “la suma de las áreas de la sección transversal de todos los conductores contenidos en cualquier sección de una canaleta auxiliar de láminas metálicas no excederá el 20% del área de la sección transversal interior de la canaleta de la canaleta auxiliar de láminas metálicas.

2.7 CAJAS DE PASO Y CAJETINES

Son elementos utilizados para realizar derivaciones y empalmes de conductores, de forma segura, hacia las conexiones de éstos con las protecciones, interruptores de iluminación, tomacorrientes, maniobras. Dichos elementos se colocan al final o en el medio de la canalización (dependiendo de las condiciones del diseño) y su dimensión y material del que están hechos se especifican en la sección 314 del CEN. Por lo general, las cajas deben tener un 40% de espacio libre.

2.8 PROTECCIONES

Son utilizadas para proteger los equipos y conductores de posibles fallas que pudieran presentarse en el sistema, siendo los más comunes los dispositivos de sobrecorriente. Tienen como objetivo principal abrir el circuito eléctrico cuando la corriente alcanza un valor que ocasionase una temperatura peligrosa para los conductores o representase algún daño en los equipos o transformadores. Entre ellos se encuentran: los dispositivos electromagnéticos, generalmente son utilizados en subestaciones y tableros; los dispositivos termo magnéticos, instalados para uso residencial, industrial, comercial, etc.; y los fusibles limitadores.

2.9 NIVELES DE TENSION

El diseño debe basarse en los niveles de tensión estipulados en la norma COVENIN 159:2005 que establece una tensión nominal de 480Y/277 V como recomendación para su aplicación en edificios comerciales, públicos e industriales.

2.10 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Está basado en una malla interconectada con un grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objetivo de drenar a la tierra las corrientes de falla y acumulación de cargas electrostáticas, minimizar el gradiente de potencial a tierra y sus tensiones asociadas, completar la protección externa contra descargas atmosféricas de la estructura y mantener un potencial de referencia para la adecuada operación de instrumentos y equipos. Estas corrientes de falla o descarga atmosférica llegan al SPAT por medio de uniones metálicas directas que permiten el flujo de las mismas a tierra, evitando su desvío hacia algún equipo o instalación que pueda representar un peligro para las personas en el interior de la edificación o sus alrededores.

2.10.1 MALLA DE PUESTA A TIERRA

El valor teórico de la resistencia de una malla de puesta a tierra dependerá de las dimensiones del terreno donde se implementara el sistema. Se tomó como referencia la IEEE Std 80-2000 “*Guide for Safety in AC Substation Grounding*”, en ella se encuentran las fórmulas de Schwarz que se pueden utilizar para determinar la resistencia total del sistema en un suelo que contenga una malla horizontal y electrodos tipo barra. La ecuación de Schwarz toma en cuenta la resistencia asociada a la malla de puesta a tierra R_1 , y la resistencia del conjunto de barras R_2 , adicionalmente usa otro factor el cual es la resistencia mutua R_m , que toma en cuenta el efecto entre los valores calculados. La combinación de la resistencia de la

masa, las barras y su mutua da como resultado la resistencia total del sistema R_g .

CAPITULO III

NORMAS Y CRITERIOS DE DISEÑO DEL METRO DE LOS TEQUES C.A.

3.1. DESCRIPCION DE LA ESTACION

La estación Ayacucho es de tipo superficial, es decir, la misma se encontraría construida sobre el nivel de la calle. En este mismo sentido, del estudio se conoció que la estación estaría conformada por seis (6) niveles, a saber: Mezzanina, Intermedio, Calle, Anden, Bajo Anden y Sótano. En esos niveles se distribuirán noventa (90) ambientes, de los cuales ochenta y cuatro (84) de ellos tendrán fines operativos mientras que otros dieciséis (16) serán utilizados para aplicaciones técnicas, con lo cual se contemplaba la instalación de sistemas electromecánicos en ellos. De entre los ambientes técnicos destaca, a efectos del diseño del sistema eléctrico, uno denominado Centro de Distribución de Potencia, ya que este ha sido previsto para resguardar todos los tableros de distribución que permitirán la alimentación eléctrica de los sistemas de tomacorrientes, iluminación y fuerza de baja tensión.

3.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE ELECTRIFICACION AUXILIAR

La estación se encuentra alimentada por dos circuitos de 30 kV, los cuales llegan a un centro único de distribución ubicado en el Nivel Calle del Edificio Técnico. Dicho Centro de Distribución será operado en secundario selectivo y por transferencia automática, y estará constituido por dos secciones de media tensión, cada una con su respectiva sección de transformación, y una sección de baja tensión.

El sistema cuenta con un grupo generador, el cual alimentará las cargas preferenciales de la estación permitiendo la operación de la misma de forma degradada.

3.3 NORMAS DE METRO LOS TEQUES

A partir del estudio se establecieron los criterios que serían utilizados en el diseño del sistema eléctrico de la estación Ayacucho, considerando para ello diferentes aspectos normativos relacionados al sistema por crear, como lo son: las canalizaciones eléctricas, el tipo de instalación de las canalizaciones, el tipo de conductores previstos, el calibre de los conductores, el criterio para la distribución de la energía, las tensiones previstas para los motores eléctricos, los niveles de tensión a ser empleados, los factores de demanda y los factores potencia previstos, la filosofía de funcionamiento del sistema de iluminación de la estación, los niveles de iluminación definidos para los diferentes ambientes, el tipo de lámparas previstos, etc.

3.3.1 CANALIZACIONES

Se definió el uso de tuberías metálicas rígidas y flexibles, estas últimas podrían ser empleadas únicamente en derivaciones con una longitud inferior a ciento ochenta centímetros (180cm). El calibre de las canalizaciones rígidas nunca sería inferior a tres cuartos de pulgada (3/4”), mientras en el caso de las tuberías flexibles su diámetro no podría ser menor a media pulgada (1/2”). En todos los casos las canalizaciones deben ser expuestas a menos que razones técnicas o arquitectónicas, de peso lo impidieran. Por otra parte con respecto a los conductores eléctricos, las normas de proyectos de la empresa señalan que el tipo de aislante de los cables será de tipo THW para 600V, sin embargo desde el año dos mil (2000) la empresa definió

el uso de cables con aislantes libres de halógeno resistentes a fuego con el objetivo de optimizar la seguridad de las instalaciones eléctricas.

3.3.2 NIVELES DE TENSION

En la normas de proyectos de la compañía se establece que cada estación de pasajeros contara con un ambiente denominado Centro de Distribución de Potencia, en el cual se encontrarán todos los tableros de distribución, fuerza y control de las cargas eléctricas. Al respecto de las tensiones para motores, las normas establecen el uso de tensiones trifásicas de cuatrocientos ochenta voltios (480V), doscientos ocho voltios (208V) y tensiones monofásicas de ciento veinte voltios (120V). En este mismo sentido las tensiones previstas para las cargas auxiliares serán monofásicas de doscientos setenta y siete voltios (277V), doscientos ocho voltios (208V) y ciento veinte voltios (120V).

3.3.3 FACTORES DE DEMANDA

La empresa define una serie de valores para los factores de demanda para una gama de equipos que normalmente forman parte de las estaciones de pasajeros los cuales deben ser usados durante las fases de cálculo de la demanda del sistema eléctrico. Estos valores se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 3 Factor de demanda.

Descripción del equipo	Factor de demanda
Extractor bajo andén	0,8
Ventilador de emergencia	0,8
Ventilador de línea	0,8
Generador de agua helada	0,8
Unidad de manejo de aire	0,8
Bomba de agua helada	0,8
Sistema hidroneumático	0,6
Escalera mecánica	0,7
Bomba de aguas negras	0,7
Bomba de drenaje	0,5
Puerta arrollables	0,4
Tablero de Iluminación	1,0
Tablero de tomacorriente	0,4
Tablero de cobro de pasajes	1,0
Tablero de energía de control de trenes	0,7
Tablero de energía de estación interruptora	0,6
Tablero de energía de subestación de tracción	0,8
Tablero de energía de foso de inspección	0,6

3.3.4 ILUMINACIÓN

La filosofía de funcionamiento del sistema de iluminación el cual requiere de al menos dos tableros, uno para la iluminación normal de la estación y otro para la iluminación de emergencia, dichos tableros contarán con una automatización que les permitirán encender ciertos grupos de luminarias según la hora del día o en caso de que se presente una anomalía en la operación del sistema eléctrico de la estación. En este mismo orden de ideas el documento correspondiente a las normas de proyecto indica los niveles de iluminación para los cuales deben hacerse los cálculos en los diferentes ambientes de las estaciones de pasajeros, por ejemplo para el nivel Mezzanina el nivel de iluminación debe ser de trecientos (300) LUX, sobre las escaleras doscientos (200) LUX y para depósitos cien (100) LUX, entre otros. En cuanto al tipo de lámparas en su mayoría serán fluorescentes T8.

Tabla 4 Niveles de iluminación

AMBIENTE	NIVEL DE ILUMINACION (LUX)	PLANO RESPECTO AL PISO (m)
Mezzanina (general).	300	0
Pasillos en Mezzanina.	300	0
Andenes.	300	0
Pasillos en Andén.	300	
Escaleras fijas e inicio y final de escaleras mecánicas.	200	0,15
Escaleras mecánicas (en toda su trayectoria excepto el inicio y final).	200	0,15 (Un plano que va a lo largo de la escalera).
Sala de máquinas de escaleras mecánicas.	100	0
Exteriores.	150	0
Zonas cercanas a los accesos de estaciones (hasta un radio de 10m).	70	0
Caminerías y alrededores.	70	0
Oficinas.	400	0,76
Depósito de Valores.	300	0,5
Cuarto de control de trenes en los pasillos entre bastidores.	300	0
Cuarto de baterías.	200	0
Centro de distribución, cuarto de tableros eléctricos, ventiladores, conductores, personal de mantenimiento y de desahogo.	300	0,5
Depósitos.	100	0
Ductos bajo andén.	40	0
Zonas frente a las máquinas expendedoras de boletos y cambiadoras de dinero.	400	0
Zonas sobre la línea de torniquetes.	400	0
Puesto de venta, Puesto de recodificación de boletos, Oficina del Supervisor de Estación y el área de Manejo de Dinero.	300	0,76

3.3.5 SISTEMA PUESTA A TIERRA

Del estudio de las normas de proyectos relacionadas con el sistema de puesta a tierra se encontraron los siguientes criterios: en ningún caso el sistema de puesta a tierra de las edificaciones presentara una resistencia superior a los dos (2) OHM, en los ambientes técnicos se preverá la instalación de estaciones de puesta a tierra (EPT), la malla principal del sistema de puesta a tierra deberá estar enterrada a una profundidad mínima de sesenta centímetros (60cm) por debajo de las fundaciones de la losa correspondiente, los motores eléctricos, tableros de iluminación y de tomacorrientes serán conectados a tierra a través de EPT, las luminarias deberán estar puestas a tierras y los tomacorrientes serán de tipo con polo a tierra.

3.3.6 SISTEMA DE VENTILACION Y BOMBEO

De las reuniones realizadas con los especialistas de los sistemas de ventilación menor, bombeo de agua potable y bombeo de agua contra incendio, se obtuvo las características de los equipos electromecánicos previstos para dichos sistemas. En la tabla 5 y tabla 6 se muestra la ubicación, el nivel de tensión y la potencia de cada uno de los equipos que conforman el sistema de ventilación menor y los diferentes sistemas de bombeo de la estación Ayacucho.

Tabla 5 Equipos de sistema de bombeo

Equipo	Descripción	Tensión (V)	Potencia (HP)	Ubicación
BAP	Bomba de agua potable	480	12	C-46
BD	Bomba de drenaje	480	2	S-69
BP	Bomba de presurización	480	5	C-46
BCI	Bomba contra incendio	480	75	C-46

Tabla 6 Equipos de sistema de ventilación menor

Equipo	Descripción	Tensión (V)	Potencia (HP)	Ubicación
VS-1	Ventilador de suministro 1	480	2	C-47
VS-2	Ventilador de suministro 2	480	2	C-26
VS-3	Ventilador de suministro 3	480	2	C-26
VEX-3	Ventilador de extracción 3	480	5	I-68
UC/UE-1	Unidad condensadora/ Unidad evaporadora-1	480	27,4	M-47
UC/UE-2	Unidad condensadora/ Unidad evaporadora-2	480	27,4	M-47
UC/UE-3	Unidad condensadora/ Unidad evaporadora-3	480	18	I-68
UC/UE-4	Unidad condensadora/ Unidad evaporadora-4	480	18	I-68
UV-1	Unidad de ventana-1	208	3,7	P-80

3.3.7 CRITERIOS DE UBICACIÓN

3.3.7.1 SISTEMA DE TOMACORRIENTES

Para definir la ubicación de los tomacorrientes en los planos de arquitectura de la estación se aplicaron los siguientes criterios:

- Se contempló la instalación de dos tipos de tomacorrientes, generales y especiales. Los tomacorrientes generales manejarán tensiones de ciento veinte Volts (120V), mientras que los tomacorrientes especiales servirán para suministrar tensiones de doscientos ocho Volts (208V).

- Serán instalados dos tableros de tomacorrientes, uno de ellos estará dedicado a los tomacorrientes ubicados en las zonas públicas y el otro para las zonas operacionales
- Todos los tomacorrientes serán instalados a una altura de cuarenta centímetros (45cm) sobre el piso acabado. En los casos en los cuales los tomacorrientes deban instalarse sobre una mesa, esta será a una altura de veinte centímetros (20cm) sobre la misma.
- Los tomacorrientes instalados en exteriores deberán ser del tipo resistente intemperie.
- En los cuartos de desahogo se dejaran salidas para alimentar el horno de microondas, nevera y bebedero de agua.

3.3.7.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

En el proceso de diseño del sistema de iluminación se consideraron los siguientes criterios:

- Las estación tendrá como mínimo dos tableros de iluminación normal (TIN1 y TIN 2), 480V/277V, trifásico cuatro hilos 60Hz.
- La alimentación de la Mezzanina y el Andén se hará de forma alternada.
- Cada estación se proveerá de una unidad de potencia ininterrumpida para alimentar la iluminación de emergencia.
- No situarán luminarias directamente sobre equipos tales como tableros o transformadores.
- Los niveles de iluminación de los diferentes ambientes de la estación se muestran en la tabla 4.

CAPITULO IV

CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA ESTACIÓN

4.1 CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

A continuación se presenta paso a paso el procedimiento efectuado para realizar los cálculos de iluminación de los diferentes ambientes de la estación Ayacucho. El cálculo modelo fue efectuado para el ambiente (M-37) correspondiente al cuarto de desahogo.

El primer paso consiste en la creación del archivo correspondiente al ambiente para el cual se efectuará la medición de iluminación. En la figura 1 se muestra el desarrollo de este paso.

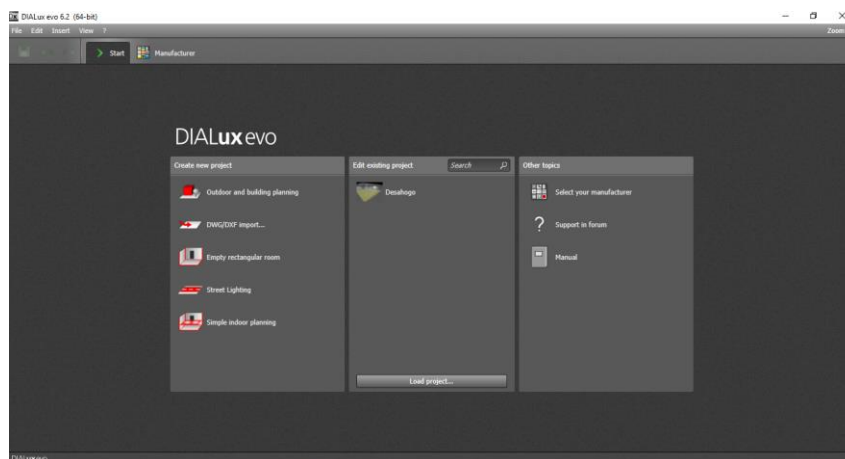


Figura 1 Creación de archivo correspondiente al ambiente M-37.

Posteriormente se define la forma y las dimensiones del ambiente. En la figura 2 se muestra pantalla en la cual se realiza el ingreso de la información.

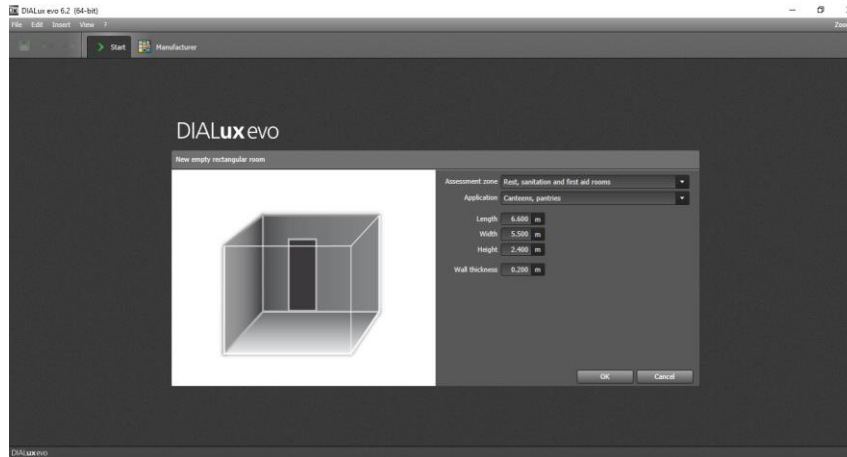


Figura 2 Ingreso de dimensiones del ambiente M-37.

A partir de la información referente a las dimensiones del ambiente M-37 introducidas en el paso anterior el programa genero una vista de planta la cual servirá como espacio de trabajo. Esta información se muestra en la figura 3.

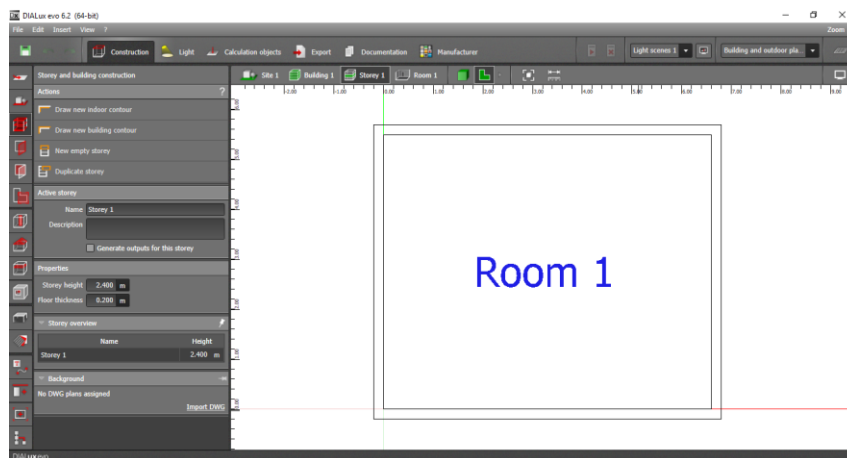


Figura 3 Espacio de trabajo para el ambiente M-37.

El modelo presentado por el programa fue modelado para lograr la mayor aproximación al espacio definido por la arquitectura. Los cambios realizados se muestran en la figura 4.

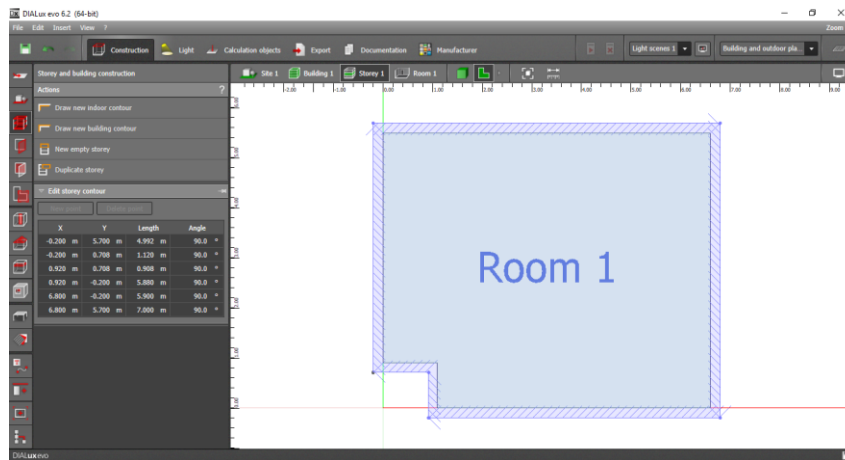


Figura 4 Modificación de espacio de trabajo

En la figura 5 se muestra la representación en tres dimensiones del espacio de trabajo.

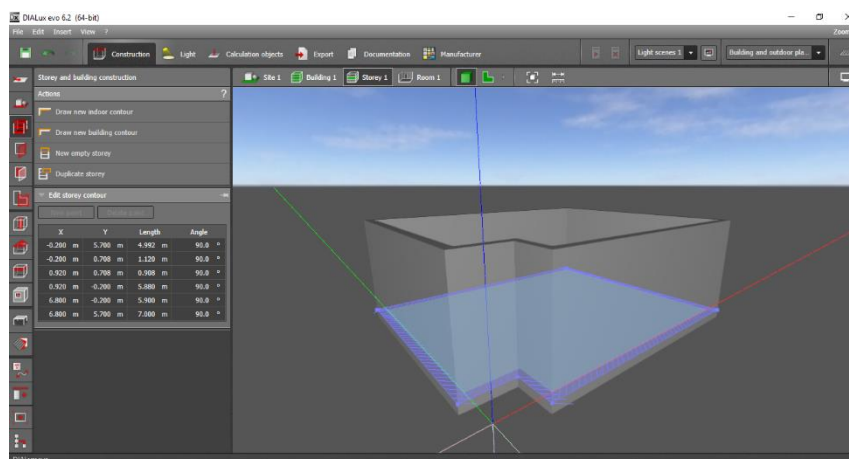


Figura 5 Representación en 3D del espacio de trabajo del ambiente.

Posteriormente se efectuó la selección de la luminaria definida en los criterios de diseño, en la figura 6 se ilustra esta actividad.

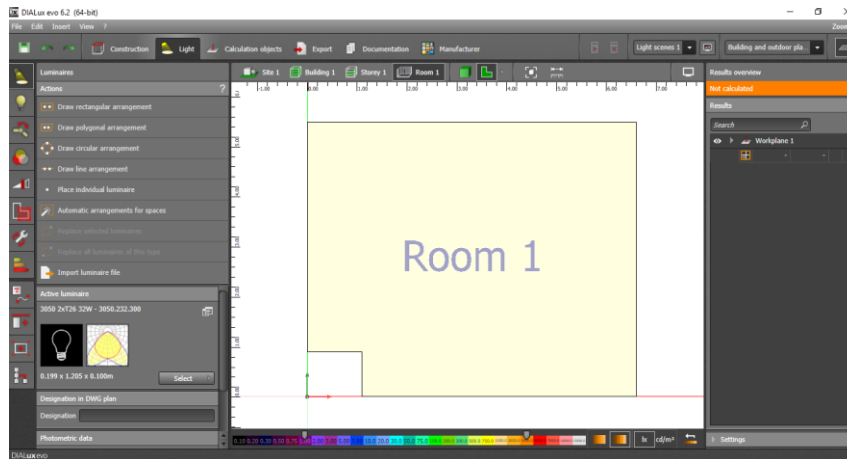


Figura 6 Selección de tipo de luminaria.

Empleando una de las acciones dadas por el programa, a partir del tipo de lámparas y nivel de iluminación definido para el ambiente, se realizó una solicitud de propuesta automática para la distribución de las luminarias. En la figura 7 se muestra la primera aproximación mostrada por el programa.

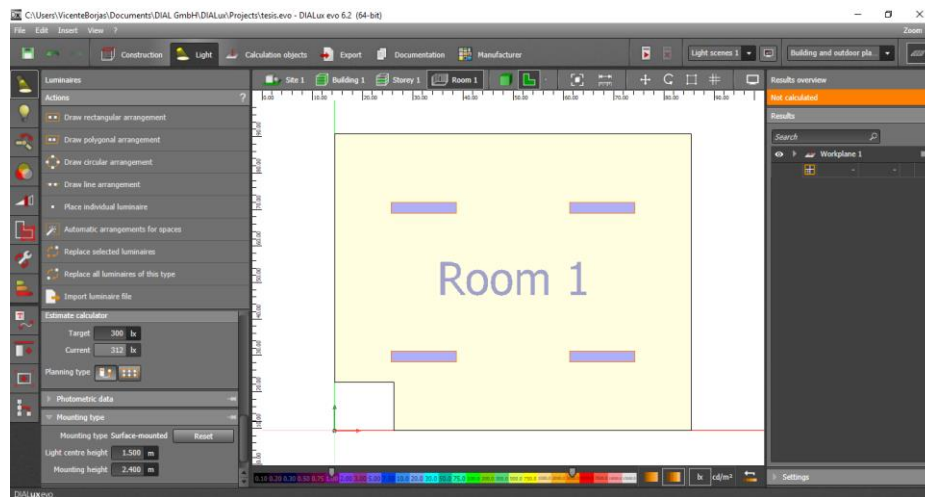


Figura 7. Primera aproximación de distribución de luminarias.

Después de obtener la primera aproximación de la distribución de las luminarias se ingresó en el programa el factor de mantenimiento, el cual se fijó como

0,67 según las normas de proyecto de Metro Los Teques. En la figura 8 se muestra este paso.

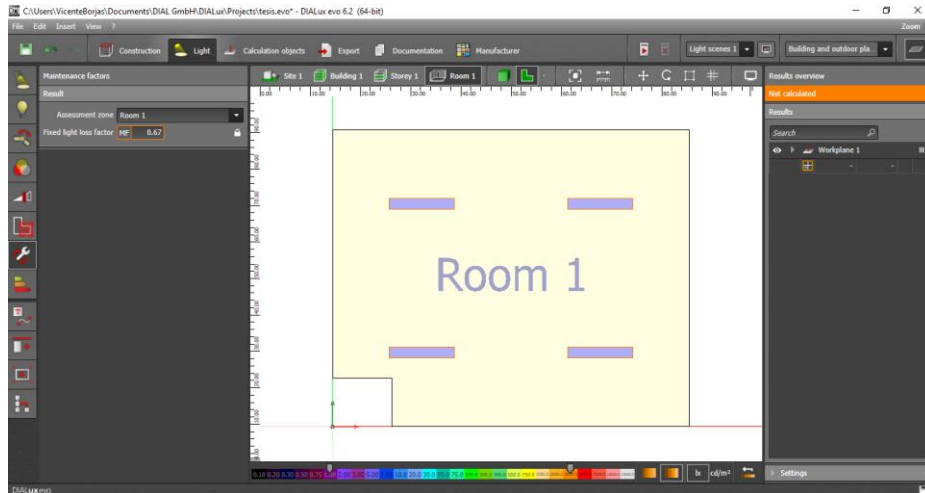


Figura 8 Ingreso de factor de mantenimiento.

Se ingresó en el programa la altura de plano de trabajo, el cual se definió en medio metro con respecto al nivel del piso acabado. Tal procedimiento se ilustra en la figura 9.

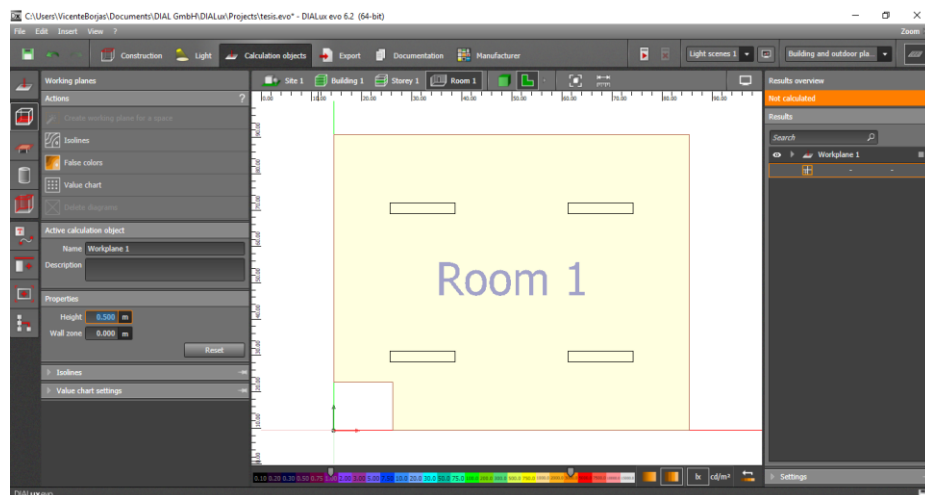


Figura 9 Ingreso de altura de plano de trabajo.

Definidas las dimensiones del ambiente, la distribución aproximada de las luminarias, el factor de mantenimiento y la altura del plano del trabajo, se le solicitó al programa que realizara el cálculo del patrón de iluminación. El resultado se muestra en la figura 10.

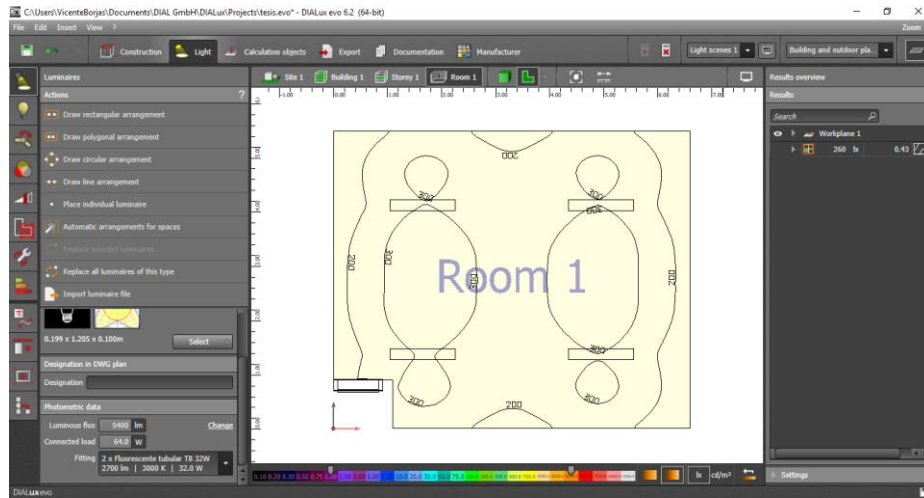


Figura 10. Diagrama de isolíneas del ambiente M-37.

Del resultado obtenido se observó que no se obtuvieron los trescientos (300) LUX requeridos para el ambiente por lo cual se incorporó una nueva luminaria a la distribución y se ajustó la ubicación de las restantes. En la figura 11 se muestran los cambios efectuados.

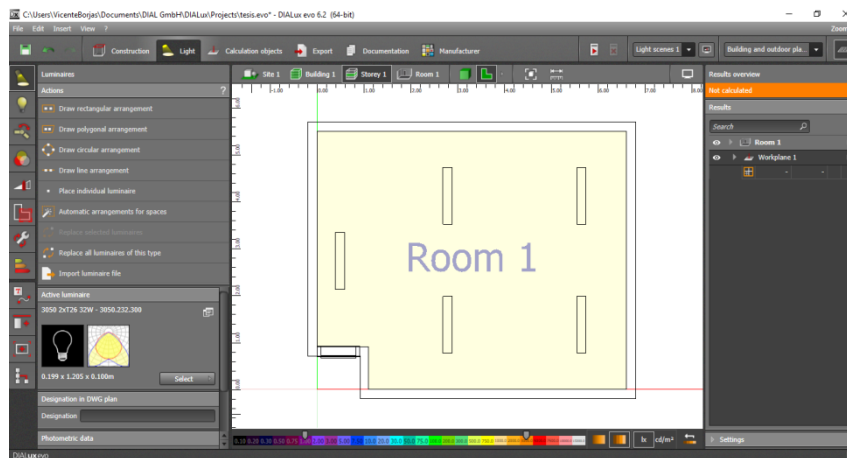


Figura 11. Optimización de aproximación.

En las figuras 12 y 13 se presenta el diagrama de isolíneas para la distribución de luminarias definida.

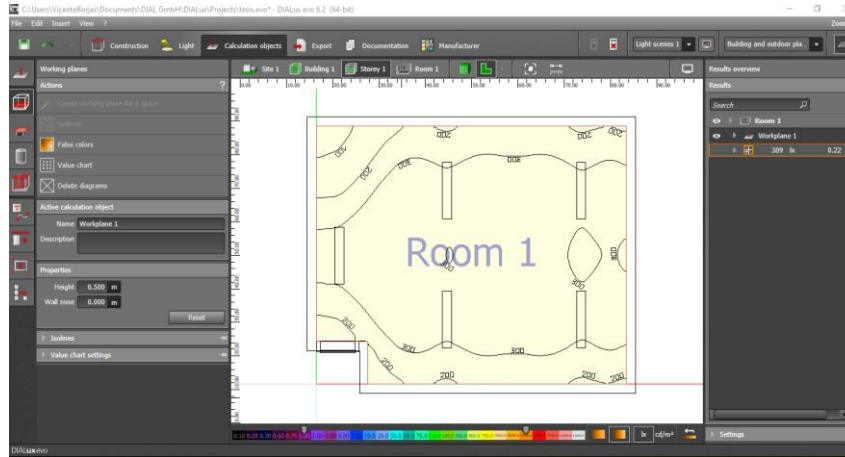


Figura 12 Diagrama de isolíneas para la distribución de luminarias definida.

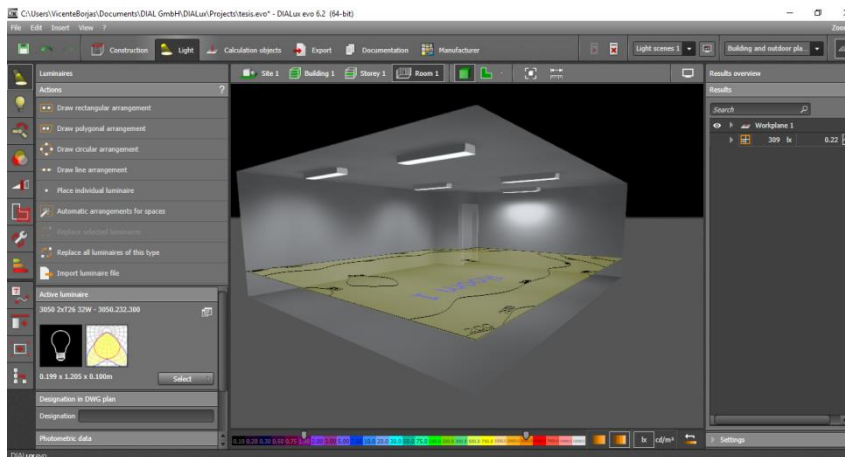


Figura 13 Diagrama de isolíneas en 3D para la distribución de luminarias definida.

Este procedimiento se realizó para cada uno de los diferentes ambientes. En el anexo I se muestra una tabla con los resultados de los arrojados por el programa DiaLux para los cálculos efectuados para todos los ambientes de la estación.

CAPITULO V

ESTUDIO DE CARGAS Y DEMANDA DE LA ESTACION AYACUCHO

5.1 ESTUDIO DE CARGAS

Luego de realizar la ubicación de todos los tomacorrientes y luminarias necesarias de cada uno de los sistemas, además de conocer todos los equipos que conforman el sistema de fuerza de baja tensión, se realizaron las siguientes tablas de cargas para cada uno de los tableros de dicho sistema:

Tabla 7 Tabla de carga del tablero de tomacorrientes 1

Tabla de Cargas asociadas con Tablero de Tomacorriente 1						
Nivel	Ambiente	Descripción de Ambiente	N° de tomacorrientes		Potencia por Ambiente (VA)	
			Generales	Especiales		
Galería	N1-42	Galería	3	0	600	
	M-73	Pasillo de servicio	1	0	200	
Mezzanina	M-36A	Pernocta caballeros	2	0	400	
	M-36B	Pernocta damas	2	0	400	
	M-37	Desahogo	8	0	1600	
	M-28	Vestuarios empleados	2	0	400	
	M-30	Sanitario empleados	1	0	200	
	M-31	Sanitario empleados	1	0	200	
	M-29	Vestuarios empleados	2	0	400	
	Intermedio	I-68	Unidad de manejo de Aire CCT	1	1	700
I-43		Cuarto de control de trenes CCT	5	1	1500	
I-74		Pasillo de servicio	3	0	600	
I-34		Cuarto de gas inergen	2	0	400	
I-102		Concecionario de telecomunicaciones	3	0	600	
ID-04		Depósito	3	0	600	
I-72		Pasillo de servicio	3	0	600	
ID-01		Depósito mantenimiento	1	0	200	
ID-02		Depósito mantenimiento	1	0	200	
ID-03		Depósito mantenimiento	1	0	200	
I-42A		Galería de canalizaciones	2	0	400	
Calle		C-22A	Cuarto de basura	2	0	400
		C-46	Cuarto de válvulas y bombas	3	1	1100
		C-75	Pasillo de servicio	2	0	400
	C-47	Cuarto de ventilación de CDP	3	1	1100	
	C-22	Lavamopas	1	0	200	
	C-30	Sanitario caballeros	1	0	200	
	C-31	Sanitario damas	1	0	200	
	C-1	Clave 1	1	0	200	
	C-40	Centro de distribución de potencia	5	3	2500	
	C-24	Planta de emergencia	1	1	700	
	C-69	Subestacion de Traccion	3	3	2100	
	C-26	Cuarto de ventilacion SE	1	1	700	
	C-76	Pasillo de servicio	1	0	200	
	Sotano	S-69	Sótano de cableado	5	3	2500

Tabla 8 Tabla de carga del tablero de tomacorrientes 2

Tabla de Cargas asociadas con Tablero de Tomacorriente 2					
Nivel	Ambiente	Descripcion de Ambiente	N° de tomacorrientes		Potencia por Ambiente (VA)
			Generales	Especiales	
Mezzanina	M-47	Unidad de manejo de aire	3	0	600
	M-89	Primeros auxilios	4	0	800
	M-32	Baño publico de caballeros	1	0	200
	M-33	Baño publico de dama	1	0	200
	M-36	Cuarto de guarda	2	0	400
	M-38	Cuarto del supervisor	4	0	800
	M-39	Cuarto de valores	4	0	800
	M-18NCP	Máquina de recarga	2	0	400
	M-72	Pasillo de servicio	2	0	400
	M-100	Oficina seguridad patrimonial	6	0	1200
	M-30A	Sanitario público caballeros	1	0	200
	M-31A	Sanitario público damas	1	0	200
	M-30B	Sanitario caballeros	1	0	200
	M-31B	Sanitario damas	1	0	200
	M-101	Oficina seguridad ciudadana	4	0	800
	M-36C	Deposito	2	0	400
	M-18	Área paga	9	0	1800
	M-17	Área pública	2	0	400
M-17NCP	Máquina venta de boletos	7	0	1400	
Anden	anden		6	0	1200
	P-22A	Cuarto de Aseo y limpieza	1	0	200
	P-22B	Cuarto de Aseo y limpieza	1	0	200
	PD-03	Depósito de seguridad	1	0	200
	PD-04	Depósito de seguridad	1	0	200
	P-81	Oficina de línea norte	2	0	400
	P-82	Oficina de línea sur	2	0	400
	PD-06	Depósito de seguridad	1	1	700
	P-80	Cuarto de atención primaria	3	0	600
	P-30	Sanitario oficina de línea caballeros	1	0	200
P-31	Sanitario oficina de línea damas	1	0	200	
Bajo Anden	S-42	Galería de Cables	2	2	1400

El valor de potencia total obtenido del tablero de tomacorriente 1 es de 22,9 kVA y para el tablero de tomacorriente 2 es de 17,3 kVA. Se instalarán tableros trifásicos que podrán distribuir una potencia de 30 kVA en 480 Volt con un arreglo de transformadores para disminuir la tensión a 120V. Esta potencia fue elegida para mantener los criterios de mantenimiento e intercambiabilidad con las demás estaciones y previendo el crecimiento del sistema de ser necesario.

A continuación, para facilitar el dimensionamiento de los circuitos ramales para el sistema de tomacorrientes se presentan las tablas de carga con los circuitos ramales distribuidos para cada uno de los polos del tablero.

Tabla 9 Tabla de distribución de circuitos ramales del tablero de tomacorrientes 1

UBICACIÓN POLO DEL DISY.	SALIDAS			POTEN. DEL PUNTO (W)	POTEN. DEL CIRC. (W)	N° DEL CIRC.	OBSERVACIONES
	TOMAS						
	PISO	PARED	ESP				
1	-	7	-	200	1400	1.1	TOMA SIMPLE Y DOBLE: S-69, C-69
2	-	6	-	500	1500	1.2,4	TOMA ESPECIAL: S-69, C-69
3	-	5	-	200	1000	1.3	TOMA SIMPLE: C-24, C-26,C-40
4	-	-	-	500	1500	1.2,4	TOMA ESPECIAL: S-69, C-69
5	-	5	-	500	1250	1.5,7	TOMA ESPECIAL: C-24, C-26,C-40
6	-	5	-	200	1000	1.6	TOMA SIMPLE: C-40, C-47
7	-	-	-	500	1250	1.5,7	TOMA ESPECIAL: C-24, C-26,C-40
8	-	5	-	200	1000	1.8	TOMA SIMPLE: C-31, C-30, C-22,C-1
9	-	5	-	200	1000	1.9	TOMA SIMPLE: C-75, C-76
10	-	5	-	200	1000	1.10	TOMA DOBLE: C-46, I-42A
11	-	6	-	200	1200	1.11	TOMA SIMPLE: I-72, I-74
12	-	4	-	500	1000	1.12,14	TOMA ESPECIAL: C-47, C-46, I-43, I-68
13	-	6	-	200	1200	1.13	TOMA SIMPLE: ID-01, ID-02, ID-03, ID-04
14	-	-	-	500	1000	1.12,14	TOMA ESPECIAL: C-47, C-46, I-43, I-68
15	-	5	-	200	1000	1.15	TOMA SIMPLE: I-102, I-34
16	-	6	-	200	1200	1.16	TOMA SIMPLE: I-43, I-68
17	-	6	-	200	1200	1.17	TOMA SIMPLE: M-28, M-29, M-30, M-31
18	-	10	-	200	2000	1.18	TOMA SIMPLE: M-36A, M-36B, M-37
19	-	5	-	200	1000	1.19	TOMA SIMPLE: M-73, N1-42

Tabla 10 Tabla de distribución de circuitos ramales del tablero de tomacorrientes 2

UBICACIÓN POLO DEL DISY.	SALIDAS			POTEN. DEL PUNTO	POTEN. DEL CIRC.	N° DEL CIRC.	OBSERVACIONES
	TOMAS						
	PISO	PARED	ESP				
1	-	3	-	200	600	2.1	TOMA SIMPLE: M-73
2	-	7	-	200	1400	2.2	TOMA SIMPLE: M-22, M-36C, M-101
3	-	4	-	200	800	2.3	TOMA SIMPLE: M-30A, M-30B, M-31A, M-31B
4	-	6	-	200	1200	2.4	TOMA SIMPLE: M-100
5	-	6	-	200	1200	2.5	TOMA SIMPLE: M-38, M-39
6	-	6	-	200	1200	2.6	TOMA SIMPLE: M-32, M-33, M-36, M-38
7	-	6	-	200	1200	2.7	TOMA SIMPLE: M-20
8	-	6	-	200	1200	2.8	TOMA SIMPLE: M-89, M-47
9	-	4	-	200	800	2.9	TOMA SIMPLE: M-17, M-18
10	-	5	-	200	1000	2.10	TOMA SIMPLE: P-30, P- 31, P-80
11	-	3	-	200	600	2.11	TOMA SIMPLE: PD-07
12	-	5	-	200	1000	2.12	TOMA SIMPLE: PD-06, P-82, PD-04, P-22B
13	-	1	-	500	500	2.13,18	TOMA SIMPLE: PREVISION SANTA
14	-	3	-	200	600	2.14	TOMA SIMPLE: ANDEN
15	-	4	-	200	800	2.15	TOMA SIMPLE: PD-03, PD-05, P-22A
16	-	2	-	200	400	2.16	TOMA SIMPLE: S-42
17	-	2	-	500	500	2.17,19	TOMA ESPECIAL: S-42
18	-	1	-	500	500	2.13,18	TOMA SIMPLE: PREVISION SANTA
19	-	-	-	500	500	2.17,19	TOMA ESPECIAL: CUARTO THREE WAY

Para el caso del sistema de iluminación se realizó las siguientes tablas de cargas:

Tabla 11 Tabla de distribución y carga de circuitos ramales del tablero de iluminación 1

N° DEL CIRC.	POLO DEL DISY.	SALIDAS		POTEN. DEL PUNTO (W)	POTEN. DEL CIRC. (W)	N° DE POLOS	REPAR. DE LAS FASES			OBSERVACIONES
		LUCES					A	B	C	
1.1	1	13		74	962	1	962			ILUMINACIÓN NIVEL SÓTANO
1.2	2	27		74	1998	1		1998		ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
1.3	3	34		74	2516	1			2516	ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
1.4	4	31		74	2294	1	2294			ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
1.5	5	15		74	1110	1		1110		ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
1.6	6	19		74	1406	1			1406	ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
1.7	7	16		74	1184	1	1184			ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
1.8	8	14		74	1884	1		1884		ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA OPERATIVA)
		8		106						
1.9	9	28		74	2072	1			2072	ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA OPERATIVA)
1.10	10	29		62	1798	1	1798			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ACCESO)
1.11	11	29		62	1798	1		1798		ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ACCESO)
1.12	12	8		106	848	1			848	ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
1.13	13	7		106	742	1	742			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
1.14	14	7		106	742	1		742		ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
1.15	15	8		106	848	1			848	ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
1.16	16	7		106	742	1	742			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
1.17	17	7		106	742	1		742		ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
1.18	18	21		74	1554	1			1554	ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN
1.19	19	21		74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN
1.20	20	11		74	814	1		814		ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN
1.21	21	21		74	1554	1			1554	ILUMINACIÓN NIVEL SUB-ANDEN
1.22	22	21		74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL SUB-ANDEN
1.23	23	21		74	1554	1		1554		ILUMINACIÓN THREE WAY
1.24	24	6		74	444	1			444	ILUMINACIÓN RAMPA
1.25	25	6		74	444	1	444			ILUMINACIÓN RAMPA
1.26	26	6		74	444	1		444		ILUMINACIÓN RAMPA
1.27	27	6		74	444	1			444	ILUMINACIÓN RAMPA
1.28	28	11		74	814	1	814			ILUMINACIÓN NIVEL GALERÍA

Tabla 12 Tabla de distribución y carga de circuitos ramales del tablero de iluminación 2

N° DEL CIRC.	POLO DEL DISY.	SALIDAS LUCES	POTEN. DEL PUNTO	POTEN. DEL CIRC.	N° DE POLOS	REPAR. DE LAS FASES			OBSERVACIONES
						A	B	C	
2.1	1	17	74	1258	1	1258			ILUMINACIÓN NIVEL SÓTANO
2.2	2	40	74	2960	1		2960		ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
2.3	3	35	74	2590	1			2590	ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
2.4	4	17	74	1258	1	1258			ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
2.5	5	27	74	1998	1		1998		ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
2.6	6	18	74	1332	1			1332	ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA
2.7	7	10	74	740	1	740			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA
2.8	8	16	106	1696	1		1696		ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA
2.9	9	15	106	1590	1			1590	ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA
2.10	10	31	74	2294	1	2294			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA
2.11	11	21	74	1554	1		1554		ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (LÍNEA CONTÍNUA)
2.12	12	21	74	1554	1			1554	ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (LÍNEA CONTÍNUA)
2.13	13	21	74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (LÍNEA CONTÍNUA)
2.14	14	21	74	1554	1		1554		ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (LÍNEA CONTÍNUA)
2.15	15	21	74	1554	1			1554	ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (LÍNEA CONTÍNUA)
2.16	16	21	74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (LÍNEA CONTÍNUA)
2.17	17	14	74	1036	1		1036		ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN
2.18	18	21	74	1554	1			1554	ILUMINACIÓN NIVEL SUB-ANDEN
2.19	19	21	74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL SUB-ANDEN
2.20	20	16	74	1184	1		1184		ILUMINACIÓN THREE WAY
2.21	21	10	74	740	1			740	ILUMINACIÓN RAMPA
2.22	22	10	74	740	1	740			ILUMINACIÓN RAMPA
2.23	23	10	74	740	1		740		ILUMINACIÓN RAMPA
2.24	24	10	74	740	1			740	ILUMINACIÓN RAMPA
2.25	25	10	74	740	1	740			ILUMINACIÓN RAMPA
2.26	26	10	74	740	1		740		ILUMINACIÓN RAMPA
2.27	27	10	74	740	1			740	ILUMINACIÓN RAMPA
2.28	28	10	74	740	1	740			ILUMINACIÓN RAMPA
2.29	29	11	74	814	1	814			ILUMINACIÓN RAMPA

El valor de potencia total obtenido del tablero de iluminación 1 es de 34,9 kVA y para el tablero de iluminación 2 es de 37,5 kVA. Se instalaran tableros trifásicos que podrán distribuir una potencia de 40 kVA. Esta potencia fue elegida para mantener los criterios de mantenimiento e intercambiabilidad con las demás estaciones.

Este mismo procedimiento se realizó para las cargas de iluminación que serán alimentadas desde un tablero auxiliar del Sistema de Energía de Emergencia (SEDE) ubicado en el centro de distribución de potencia de la estación Ayacucho.

Tabla 13 Tabla de distribución y carga de circuitos ramales del tablero de iluminación de emergencia.

N° DEL CIRC.	POLO DEL DISY.	SALIDAS LUCES	POTEN. DEL PUNTO	POTEN. DEL CIRC.	N° DE POLOS	REPAR. DE LAS FASES			OBSERVACIONES
						A	B	C	
E.1	1	7	74	518	1	518			ILUMINACIÓN NIVEL SÓTANO
E.2	2								RESERVA
E.3	3	29	74	2146	1			2146	ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
E.4	4	33	74	2442	1	2442			ILUMINACIÓN NIVEL CALLE
E.5	5	13	74	962	1		962		ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
E.6	6	24	74	1776	1			1776	ILUMINACIÓN NIVEL INTERMEDIO
E.7	7	22	74	1628	1	1628			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA OPERATIVA)
E.8	8	15	74	1110	1		1110		ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA OPERATIVA)
E.9	9	2	74	1844	1			1844	ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
		16	106						
E.10	10	21	74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL MEZZANINA (ÁREA PÚBLICA)
E.11	11	24	74	1776	1		1776		ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN
E.12	12								RESERVA
E.13	13	21	74	1554	1	1554			ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN
E.14	14	16	74	1184	1		1184		ILUMINACIÓN NIVEL SUB-ANDEN
E.15	15								RESERVA
E.16	16	9	74	666	1	666			ILUMINACIÓN NIVEL ANDEN (THREE
E.17	17	14	74	1036	1		1036		ILUMINACIÓN RAMPA
E.18	18	14	74	1036	1			1036	ILUMINACIÓN RAMPA
E.19	17	14	74	1036	1		1036		ILUMINACIÓN RAMPA
E.20	18	14	74	1036	1			1036	ILUMINACIÓN RAMPA
E.21	18	6	74	444	1			444	ILUMINACIÓN NIVEL GALERÍA

Con la finalidad de desarrollar el estudio de cortocircuito del sistema de fuerza de baja tensión de la estación, así como también para efectuar el dimensionamiento de los circuitos sub-alimentadores de los motores y los tableros, se llevó a cabo una tabla de cargas en la cual se presentan las características eléctricas de todos los tableros de distribución y de las cargas especiales que formaran parte de la

estación. Esta información se muestra en la tabla 14.

Tabla 14 Tabla de carga del sistema de fuerza de baja tensión.

Nivel	Ambiente	Descripción	Equipo	Potencia	
				HP	KVA
Mezzanina	M-47	Unidad de manejo de aire	UC/UE-1	27,4	-
	M-47	Unidad de manejo de aire	UC/UE-2	27,4	-
Calle	C-40	Centro de distribución de potencia	TTC-1	-	30
	C-69	Subestación de tracción	TRCP	-	3
	C-46	Cuarto de válvulas y bombas	TBAP	12	-
	C-26	Cuarto de ventilación SE	VS-3	3	-
	C-26	Cuarto de ventilación SE	VS-4	3	-
	C-46	Cuarto de válvulas y bombas	TBCI	75	-
	C-46	Cuarto de válvulas y bombas	TBP	5	-
	C-47	Cuarto de ventilación CDP	VS-1	2	-
	C-40	Centro de distribución de potencia	TIN-1	-	40
	C-40	Centro de distribución de potencia	SEDE REC 1	-	50
	C-40	Centro de distribución de potencia	TSA	-	2
	C-40	Centro de distribución de potencia	TIN-2	-	40
	C-40	Centro de distribución de potencia	TRT SEDE C/E 1	-	32
	C-40	Centro de distribución de potencia	SEDE PM	-	32
	C-40	Centro de distribución de potencia	TRT SEDE C/E 2	-	32
	C-40	Centro de distribución de potencia	TTC-2	-	30
	C-69	Subestación de tracción	TSA-S/E	-	10
	C-69	Subestación de tracción	TSA-S/E	-	10
Intermedio	I-68	Unidad de manejo de aire CCT	VEX-3	5	-
	I-68	Unidad de manejo de aire CCT	UC/UE-3	18	-
	I-68	Unidad de manejo de aire CCT	UC/UE-4	18	-
	I-43	Cuarto de control de trenes	TMCV	-	6
Sótano	S-69	Sótano de cableado	TBD	2	-
	S-69	Sótano de cableado	TBD	2	-

5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR Y DEL GRUPO GENERADOR

Consiste en el estudio de demanda de la estación Ayacucho y dimensionamiento de transformadores 30kV/0,480kV para el funcionamiento normal de la estación y el grupo generador el cual prestara servicio en el momento de la salida de funcionamiento de los transformadores para así prestar el servicio de la estación cumpliendo con las minimas necesidades del sistema.

5.2.1 TRANSFORMADORES

5.2.1.1 CRITERIOS

El dimensionamiento de los transformadores de la estación de pasajeros Ayacucho se establecerá de acuerdo a los criterios que se presentan en el manual de proyectos de metro Capítulo 24. A continuación, se encuentran los criterios antes mencionados:

- En condiciones normales, con un transformador fuera de operación, el segundo transformador será capaz de suministrar toda la carga normal de la estación.
- En condiciones de emergencia en la estación o la línea, con un transformador fuera de operación, el segundo transformador será capaz de suministrar la carga para dos (2) ventiladores de emergencia, dos (2) ventiladores de línea, la bomba de agua contra incendios, mas toda la carga normal de la estación; excepto las cargas correspondientes a las escaleras mecánicas, y a los generadores y bombas de agua helada del sistema de aire acondicionado.
- Carga normal de pasajeros de la estación de pasajeros, se define de esta forma a toda aquella carga necesaria para el funcionamiento de la estación en condiciones normales, tales como iluminación, tomacorrientes, ventilación, aire acondicionado, escaleras mecánicas, bombas, etc.
- Carga de emergencia de la estación de pasajeros, se define de esta manera a la carga constituida por los ventiladores de emergencia, bomba de agua contra incendios, detección de incendios e iluminación de emergencia.
- Para determina la demanda normal y la demanda de emergencia se tomara un factor de diversidad de 1,3 y los factor de demanda de la tabla 3.

5.2.1.2 DIMENSIONAMIENTO

Para lograr el dimensionamiento de los transformadores de la estación Ayacucho fue necesario realizar un estudio de demanda de las diversas cargas en cada una de las barras del sistema de baja tensión, en las tablas 15 y 16 se muestran estos estudios.

Tabla 15 Tabla de estudio de demanda de la barra 1.

Ident.	Descripcion del equipo	CARGA					
		Carga Nominal (HP)	Corriente Nominal (Amp)	Carga Nominal (kVA)	Factor de demanda	Factor de diversidad	Demanda máxima (KVA)
TIN-1	TABLERO DE ILUMINACION NORMAL		48,11	40,00	1,00	1,30	30,77
TTC-1	TABLERO DE TOMACORRIENTE 1		36,08	30,00	0,40	1,30	9,23
TBD(BD)	TABLERO DE BOMBA DE DRENAJE	2	3,4	2,71	0,80	1,30	0,00
SEDE REC 1	SEDE REC 1		36,08	50,00	1,00	1,30	38,46
TMCV	TABLERO DE CAMBIA VÍAS		7,22	6,00	1,00	1,30	4,62
TSA-S/E	TABLERO DE SERVICIOS AUXILIARES EN S/E		12,03	10,00	1,00	1,30	7,69
VS-3	VENTILADOR SUMINISTRO 3	2	14	11,15	0,80	1,30	6,86
VS-2	VENTILADOR SUMINISTRO 2	2	14	11,15	0,80	1,30	6,86
VEX-3	VENTILADOR DE EXTRACCION 3	5	7,770833	6,19	0,80	1,30	3,81
UC/UE-1	UNIDAD CONDESADORA/EVAPORADORA 1	27,4	7,6	6,06	0,80	1,30	3,73
UC/UE-3	UNIDAD CONDESADORA/EVAPORADORA 3	18	14	11,15	0,80	1,30	6,86
TRT SEDE C/E	TRT SEDE C/E		115,52	32,00	1,00	1,30	0,00
TRPC	TABLERO CONTROL DE CORROSION		3,61	3,00	1,00	1,30	2,31
UV-1	UNIDAD DE VENTANA 1	3,7	7,6	6,06	0,80	1,30	3,73
TBAP	TABLERO BOMBA DE AGUA POTABLE	12	16,9	13,46	0,80	1,30	8,29
SEDE P/M	SEDE 1 P/M			32,00	1,00	1,30	0,00

En la barra 1 la carga nominal es de 270,94kVA y una demanda máxima de 133,22kVA.

Tabla 16 Tabla de estudio de demanda de la barra 2.

Ident.	Descripcion del equipo	CARGA					
		Carga Nominal (HP)	Corriente Nominal (Amp)	Carga Nominal (kVA)	Factor de demanda	Factor de diversidad	Demanda máxima (KVA)
TIN-2	TABLERO DE ILUMINACION NORMAL		48,11	40,00	1,00	1,30	30,77
UC/UE-4	UNIDAD CONDESADORA/EVAPORADORA 4	18	14	11,15	0,80	1,30	0,00
TTC-2	TABLERO DE TOMACORRIENTE 2		36,08	30,00	0,40	1,30	9,23
TBP	TABLERO DE BOMBA DE PRESURIZACIÓN	5	7,6	6,06	1,00	1,00	6,06
TBD	TABLERO BOMBA DE DRENAJE	2	3,4	2,71	0,80	1,30	1,67
VS-1	VENTILADOR SUMINISTRO 1	2	4,8	3,82	0,80	1,30	2,35
TMCV	TABLERO DE CAMBIA VÍAS		7,22	6,00	1,00	1,30	0,00
TSA-S/E	TABLERO DE SERVICIOS AUXILIARES EN S/E		12,03	10,00	1,00	1,30	0,00
UC/UE-2	UNIDAD CONDESADORA/EVAPORADORA 2	27,4	7,6	6,06	0,80	1,30	0,00
TSA	TABLERO DE SERVICIOS AUXILIARES		2,41	2,00	0,80	1,30	1,23
TRT SEDE	SISTEMA DE ENERGÍA DE EMERGENCIA 1		115,52	32,00	1,00	1,30	0,00
TBCI	TABLERO DE BOMBA CONTRA INCENDIO	75	96	76,49	1,00	1,00	76,49
SEDE REC	SEDE REC 2		36,08	50,00	1,00	1,30	0,00

En la barra 2 la carga nominal es de 276,28kVA y una demanda máxima de 127,79kVA.

Para este sistema se dimensiono un transformador con una potencia en el primario de 399KVA y para el secundario de 300kVA.

Tabla 17 Tabla de dimensionamiento de transformador

Identificación	CARGA	
	Descripcion del equipo	Demanda máxima (KVA)
B-1N	BARRA 1 NORMAL	133,22
B-2N	BARRA 2 NORMAL	127,79
TOTAL (KVA)		261,01
DEMANDA MAX.TOTAL FINAL (KVA)		261,01
DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR (KVA)		274,06
TRANSFORMADOR SELECCIONADO EN kVA		300AN/399AF

5.2.2 GRUPO GENERACION

La Planta de Emergencia alimenta a las cargas que deben ser mantenidas en funcionamiento aún con la perdida de los dos transformadores de potencia. Con la perdida de los dos transformadores de potencia, entrará en operación el comando para

rechazar las cargas normales a través de la abertura de sus respectivos disyuntores motorizados, y sólo las cargas esenciales permanecen energizados por el generador.

Cuando retorne la energía normal de la red, automáticamente los grupos generadores serán desligados, y los disyuntores de las cargas normales se cerraran, y todas las cargas estarán energizadas por los transformadores de potencia.

5.2.2.1 DIMENSIONAMIENTO

Para realizar el dimensionamiento del grupo generador se realizó la tabla 18, donde se pueda apreciar las cargas que serán alimentadas por el grupo de generación en caso de que ambos transformadores salgan de funcionamiento.

La potencia que debe aportar el generador será de 193,09kVA más un 10% de reserva, esto quiere decir que el generador debe aportar al menos 212,3kVA.

Tabla 18 Tabla de dimensionamiento de grupo generador.

Identificación	Descripción del Equipo	Pot. Unitaria (HP/kW/kVA)	Factor de Potencia	Carga Nominal	Factor de Demanda	Factor de Diversidad	Stot (KVA)	Ptotal (KW)	Qtot (KVAr)
Tableros	TBC1	75,00	0,86	76,49	1,00	1,00	76,49	65,78	39,03
	TBP	5,00	0,86	6,06	1,00	1,00	6,06	5,21	3,09
	TBD	2,00	0,86	2,71	0,80	1,30	1,67	1,43	0,85
Motores	VS-1	2,00	0,86	3,82	0,80	1,30	2,35	2,02	1,20
	UE/UE-1	27,40	0,86	23,30	0,80	1,30	14,34	12,33	7,32
	UE/UE-3	18,00	0,86	15,31	0,80	1,30	9,42	8,10	4,81
	kVA								
Tableros	SEDE REC 2	50,00	0,86	50,00	1,00	1,30	38,46	33,08	19,63
	TIN 2	40,00	0,92	40,00	1,00	1,30	30,77	28,31	12,06
	TSA	2,00	0,86	2,00	0,80	1,30	1,23	1,06	0,63
	TSA-S/E	10,00	0,86	10,00	1,00	1,30	7,69	6,62	3,93
	TMCV	6,00	0,86	6,00	1,00	1,30	4,62	3,97	2,36
Total							193,09	167,90	94,89

CAPITULO VI

DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES Y COORDINACION DE PROTECCION

6.1 ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

El módulo de cortocircuito del software ETAP analiza el efecto de fallas trifásicas, monofásicas, de línea a línea y de línea a tierra en sistemas de distribución eléctrica. El programa calcula la corriente de cortocircuito, realizando la suma de las contribuciones de los motores, generadores y acometidas de alimentación.

El estudio de fallas están acorde a los últimos estándares de ANSI/IEEE y IEC, en el caso del estudio de cortocircuito del sistema eléctrico de la estación Ayacucho se utilizaran los estándares ANSI/IEEE debido a que Venezuela se acoge a estos estándares.

A través del editor de estudio de corto circuito se seleccionara el cálculo bajo los estándares ANSI/IEEE.



Figura 14 Editor de estudio de cortocircuito.

Los estándares utilizado por ETAP son los siguientes:

- IEEE C37.04 Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current including Supplements: IEEE C37.04f, IEEE C37.04g, IEEE C37.04h, IEEE C37.04i.
- IEEE C37.010 Standard Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current.
- IEEE C37.010b Standard and Emergency Load Current-Carrying Capability.
- IEEE C37.010e Supplement to IEEE C37.010 .
- IEEE C37.13 Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures
- IEEE C37.013 Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
- IEEE C37.20.1 Standard for Metal Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear
- IEEE 399 IEEE Recommended Practice for Power System Analysis (IEEE Brown Book)
- IEEE 141 IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (IEEE Red Book)
- IEEE 242 IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book)
- UL 489-9 Standard for Safety for Molded-Case Circuit Breakers, MoldedCase Switches, and Circuit Breaker Enclosure
- Short Circuit Device Evaluation Based on ANSI C37.13 / UL 489

En el cálculo de corto-circuito mediante el método ANSI/IEEE, una fuente de tensión equivalente en la ubicación de la falla, que es igual a la tensión de pre-falla, reemplaza todas las fuentes de tensión externas y tensión interna de la máquina.

Todas las maquinas son representadas por sus impedancias internas. Las capacitancias de líneas y cargas estáticas se ignoran. Se puede especificar la impedancia de falla en el editor de estudio de corto-circuito para fallas de línea a tierra. Las impedancias del sistema se asumen balanceadas, y el método de las componentes simétricas se usa para el cálculo de las fallas desbalanceadas. Tres distintas redes de impedancia son formadas para calcular las corrientes momentáneas, de interrupción y de estado estacionario.

Utilizando el software ETAP se procedió a realizar el diagrama unifilar del sistema de baja tensión de la estación, el cual se muestra en la figura 15.

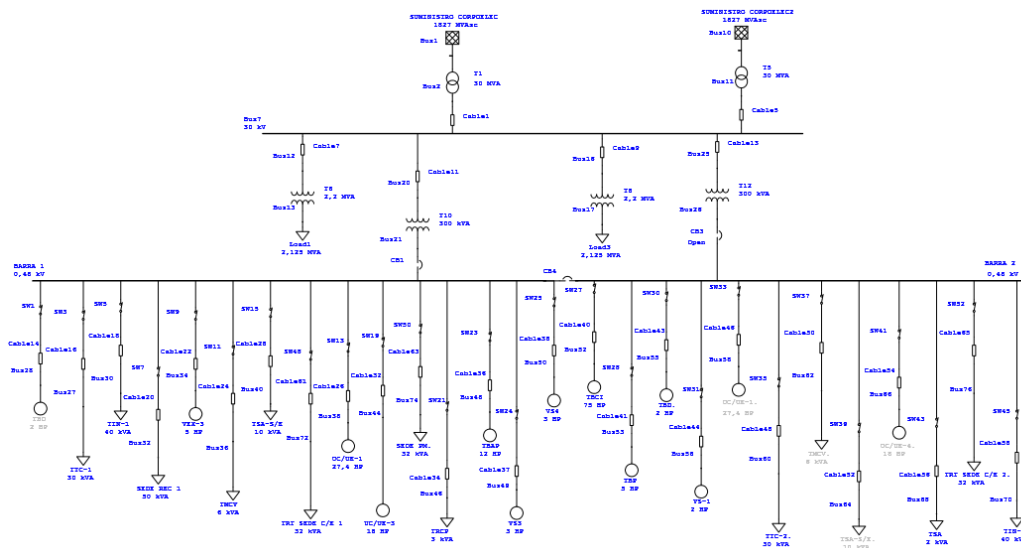


Figura 15 Diagrama unifilar de la estación Ayacucho.

En la tabla 19 se presentan los valores de cortocircuito obtenidos para cada uno de los tableros y motores.

Tabla 19 Tabla de resultados de corrientes de cortocircuito del sistema

EQUIPO	CORTOCIRCUITO (KA)			
	TRIFÁSICO	MONOFÁSICO	BIFÁSICO	BIFÁSICO A TIERRA
TTC-1	3,26	2,34	2,824	3,166
TBD	0,317	0,187	0,275	0,285
TIN-1	3,924	3,054	3,398	3,89
SEDE REC 1	3,924	3,054	3,398	3,89
VEX-3	0,324	0,186	0,281	0,294
TMCV	0,215	0,126	0,186	0,192
UC/UE-1	1,332	0,8	1,154	11,243
TSA-S/E	0,39	0,23	0,336	0,35
UC/UE-3	0,805	0,468	0,697	0,742
TRCP	0,345	0,203	0,299	0,31
TBAP	0,697	0,405	0,603	0,638
VS-3	0,33	0,191	0,286	0,298
VS-4	0,33	0,191	0,286	0,298
TBCI	0,894	0,438	0,774	0,858
TBP	0,318	0,182	0,275	0,288
TBD	0,324	0,188	0,281	0,292
VS-1	0,485	0,285	0,42	0,438
UC/UE-1	1,259	0,779	1,09	1,159
TTC-2	3,26	2,34	2,824	3,166
TMCV	0,215	0,126	0,186	0,192
TSA-S/E	0,39	0,23	0,337	3,5
UC/UE-4	0,759	0,456	0,657	0,69
TSA	1,225	0,748	1,033	1,123
TIN-2	3,924	3,054	3,398	3,89
TRT SEDE C/E 1	4,728	4,128	4,095	4,741
SEDE PM	4,728	4,128	4,095	4,741
TRT SEDE C/E 2	4,728	4,128	4,095	4,741

6.2 DIMENSIONAMIENTO DE CIRCUITOS RAMALES, SUB-ALIMENTADORES Y COORDINACION DE PROTECCIONES

6.2.1 CRITERIOS GENERALES

Para el cálculo de los circuitos ramales del sistema de tomacorrientes e iluminación se tomaron en cuenta los criterios de capacidad de carga, caída de tensión

y capacidad de protección. Para el caso de los cálculos de los circuitos sub-alimentadores, además de los criterios señalados, se utilizó el criterio de cortocircuito.

Inicialmente se determinará en calibre del conductor a partir de su capacidad de carga para lo cual debe cumplirse la siguiente condición:

$$I_{cable} * F_a > I_n \quad (1)$$

Para el caso en que el conductor alimente a un motor la condición a cumplir debe ser la siguiente:

$$I_{cable} * F_a > 1,25 * I_n \quad (2)$$

Donde:

I_n = Corriente nominal del motor (tomada de la Tabla 430-250. CEN. Motores Trifásicos De Corriente Alterna), equipo o tablero de cargas de tomacorrientes e iluminación.[A]

I_{cable} = Capacidad de corriente del cable[A].

F_a = Factor de agrupamiento para 8 circuitos máximo = 0,72 (Valor obtenido a partir de la Tabla 52-E1

1,25 = Factor establecido para circuitos que alimenten a un solo motor según el apartado 430.22 del Código Eléctrico Nacional CEN 2009.

Una vez seleccionado el conductor por el criterio de capacidad de carga se procede a evaluar si dicho calibre cumple con el criterio de caída de tensión establecido. Para este cálculo se emplean las siguientes ecuaciones:

Sistema Monofásico:

$$\% \Delta V = \frac{2 * 100 * I * L(R * \cos(\varphi) + L * \sin(\varphi))}{V} \quad (3)$$

Sistema Trifásico:

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * 100 * I * L(R * \cos(\varphi) + L * \sin(\varphi))}{V} \quad (4)$$

Donde:

$\% \Delta V$ = Porcentaje de Caída de tensión

I = Corriente Nominal [A]

L = Distancia del circuito, del punto de alimentación hasta la carga [km]

Rac = Resistencias en corriente alternada [Ω /km]

Xac = Reactancia inductiva da línea [Ω /km].

Φ = Ángulo de fase

V = Tensión del circuito [V]

Tabla 20 Tabla de resistencias y reactancias de los conductores retardante de llama de la empresa ARISTONVCAVI

Section Transversal (mm ²)	Rac Ohm/Km	Xac Ohm/Km
2,5	8,2100	0,1860
4	5,0900	0,1716
6	3,3900	0,1620
10	1,9500	0,1428
16	1,2400	0,1344
25	0,7950	0,1272
35	0,5650	0,1212
50	0,3930	0,1212
70	0,2770	0,1158
95	0,21	0,117
120	0,1640	0,11268
150	0,1320	0,1114
185	0,1080	0,1090
240	0,0817	0,1082
300	0,0654	0,1074

Se considera una caída de tensión máxima de 3%. Los valores de las resistencias R_{ac} y reactancias X_{ac} , son obtenidas de la Tabla 20.

Los valores de la resistencia R_{ac} y reactancia X_{ac} están dados para una temperatura de 20°C en los conductores, por lo tanto se hace la conversión de estos valores para la temperatura de 90°C, según la siguiente fórmula:

$$R_{90^{\circ}} = R_{20^{\circ}} * (1 + \alpha \Delta T) \quad (5)$$

Donde:

$\alpha = 0,00393$ para conductores de cobre.

$R_{90^{\circ}}$ = Resistencia a 90°C [Ω/km]

$R_{20^{\circ}}$ = Resistencia a 20°C [Ω/km]

ΔT = Variación de temperatura 70°C

Entonces:

$$R_{90^{\circ}} = 1,275 * R_{20^{\circ}} \quad (6)$$

En caso de que el conductor seleccionado a partir del criterio de capacidad de carga no cumpla con el criterio de caída de tensión, se seleccionará un calibre superior que cumpla con ambos criterios.

Para el dimensionamiento de la protección de los conductores se debe cumplir la siguiente condición en caso de sobrecorriente:

$$I_n < I_p < F_a I_{cable} \quad (7)$$

Si la carga a proteger corresponde a un motor, la condición a cumplir debe ser la siguiente:

$$1,25 * I_n < I_p < F_a I_{cable} \quad (8)$$

Dónde:

I_n = Corriente nominal de la carga [A].

I_p = Corriente nominal del disyuntor [A].

I_{cable} = Capacidad de corriente del cable [A].

F_a = Factor de agrupamiento para 8 circuitos máximo = 0,72.

1,25 = Factor establecido para circuitos que alimenten a un solo motor según el apartado 430.22 del Código Eléctrico Nacional CEN 2009

El alcance de la empresa que realiza el proyecto con respecto a la coordinación de protecciones se limita la selección de las protecciones de sobrecorriente de los tableros que forman el sistema auxiliar de la estación.

Se debe verificar que la corriente circulante por el conductor no genere una sobrecarga en el mismo, para ello se debe cumplir la siguiente condición:

$$100\% * \frac{I_n}{I_{cable}} \leq 80\% \quad (9)$$

Dónde:

I_n = Corriente nominal de la carga [A]

I_{cable} = Capacidad de corriente del cable [A]

De esta forma se garantiza que el conductor no sufra una sobrecarga. En caso de que el conductor seleccionado a partir de los criterios anteriores no cumpla con el porcentaje de carga menor al 80%, se debe seleccionar un calibre superior.

Una vez obtenido el calibre del cable a partir de los criterios de capacidad de corriente y caída de tensión, se procede a verificar que dicho conductor soporta el nivel de cortocircuito máximo al cual va a estar expuesto. Para eso se procede al cálculo de las corrientes de corto circuito en las barras de baja tensión en los Tableros del Centro de Distribución de Potencia (CDP). Los cálculos de las corrientes de cortocircuito se realizaron mediante el programa de simulación ETAP. En la tabla 19 se muestra los valores de cortocircuito.

Para el calibre seleccionado por capacidad de carga y caída de tensión debe verificarse si dicho conductor soporta el nivel de cortocircuito máximo al cual va a estar expuesto.

En este sentido, con el nivel de cortocircuito (valor máximo de cortocircuito de las barras del respectivo Tablero), se calculan los tiempos de resistencia al cortocircuito de los cables alimentadores según la fórmula sugerida por el fabricante del cable ARISTONCAVI.

$$I_{cc} = \frac{k * S}{\sqrt{t}} \quad (10)$$

Dónde:

I_{cc} = Corriente de cortocircuito [A]

S: Sección nominal del conductor [mm²]

t: Duración del cortocircuito [seg]

k: Constante para la determinación de la energía que eleva la temperatura del conductor en temperatura máxima de servicio hasta la temperatura de cortocircuito. Los valores de la constante k se determinan por la norma IEC 60724. Conforme indicado a continuación:

Para cables 90°C = 146

Para cables 70°C = 115

Para el cálculo de los tiempos de soporte de los conductores conectados directamente a las barras 1 y 2 del Tablero Principal del CDP, se considera el uso de disyuntores con un tiempo de apertura de 1 segundo, por lo tanto, los conductores deben soportar la corriente de cortocircuito durante un tiempo mayor o igual a 1 segundo. Se verificará para cada alimentador que se cumpla con dicha condición.

Otros criterios que se emplearan en los sistemas de tomacorriente, iluminación y fuerza de baja tensión son los siguientes:

- Se permitirá una caída de tensión igual al tres por ciento (3%), desde el tablero hasta el punto de salida más alejado del circuito ramal o al equipo a ser energizado.
- Se considerará para los cálculos una temperatura ambiente de veinte grados Celsius (20°) y una temperatura máxima del conductor del conductor de noventa grados Celsius (90°).
- El factor de carga de los conductores nunca superar el ochenta por ciento (80%) de su ampacidad.
- El factor de agrupamiento en los cálculos se normalizó en el valor 0,72.
- Se emplearan conductores de tipo RLL con aislamiento retardante de llama.
- El calibre de los conductores nunca será inferior al número doce (12) en AWG.
- El conductor de neutro será del mismo calibre que los conductores de fase y debe ser dimensionado considerando un 100% de desbalance de la carga.

6.2.2 CRITERIOS ESPECÍFICOS

6.2.2.1 SISTEMA DE TOMACORRIENTES

Para realizar el cálculo de los conductores relativos al sistema de tomacorrientes se tomaron en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- La potencia de salida de los tomacorrientes de tipo general será de doscientos Volt-Amper (200VA), mientras que para los de tipo especial será de quinientos Volt-Amper (500VA).
- Se tomara para los cálculos un valor de factor de potencia igual a 0,9.

6.2.2.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para realizar el cálculo de los conductores relativos al sistema de iluminación se tomaron en cuenta las siguientes premisas de diseño:

- Se tomara para los cálculos un valor de factor de potencia igual a 0,92.

6.2.2.3 SISTEMA DE FUERZA DE BAJA TENSIÓN

Para realizar el cálculo de los conductores relativos al sistema de fuerza de baja tensión se tomaron en cuenta las siguientes premisas de diseño:

- Factor 1,25 serán aplicados para la siguiente condición: conductores del circuito ramal que alimenten un solo motor, tendrán una capacidad de corriente no menor que el 125 % de la corriente nominal a plena carga del motor (conforme ítem 430.22 del CEN 2009).
- Factor de Potencia de 0,8 para los equipos generales

6.2.3 CÁLCULO MODELO

6.2.3.1 SISTEMA DE TOMACORRIENTES

A continuación se desarrolla un cálculo modelo el cual corresponde al circuito ramal 1 del tablero de tomacorrientes uno.

Las características del circuito ramal son las siguientes:

- Circuito ramal 1.1.
- Tensión Nominal: 120V.
- Longitud del Circuito: 78 m.
- Factor de Potencia: 0,9.
- Corriente nominal: 11,67 A.

Empleando el criterio de capacidad de carga ecuación 1 del conductor bajo condiciones de instalación, debe cumplir la siguiente condición:

$$I_{cable} * 0,72 > 11,67 A$$

$$I_{cable} > 16,20 A$$

Por lo tanto inicialmente se selecciona un conductor calibre 2,5 mm² (#12 AWG) cuya corriente nominal es 25 A (conductor tipo RLL al aire), soportando así bajo las condiciones de instalación una corriente máxima de 0,72*25A= 18 A.

Una vez seleccionado el calibre del conductor se procede a verificar que cumpla con el criterio de caída de tensión, a partir de la ecuación definida anteriormente, considerando que para un conductor de calibre 2,5 mm² (#12 AWG) de tipo RLL sus valores de resistencia y reactancia son los siguientes:

- Resistencia a 90 °C: 10,47 Ω/Km.
- Reactancia: 0,1860 Ω/Km.

Empleando la ecuacion 3 se tiene que el porcentaje de caida de tension viene dado por:

$$\% \Delta V = \frac{100 \cdot 2 \cdot (11,67) \cdot (0,78 \text{ Km}) \cdot \left[\left(10,47 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot 0,9 + \left(0,1860 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot \text{sen}(\text{acos}(0,9)) \right]}{120 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 14,41 \% > 3\%$$

En vista de que el calibre seleccionado no cumple con el criterio de caída de tensión, se procede a seleccionar un calibre mayor, obteniendo los siguientes resultados:

Para un conductor de calibre 16 mm^2 (#4 AWG) de tipo RLL sus valores de resistencia y reactancia son los siguientes:

- Resistencia a 90 °C: $1,5811 \text{ } \Omega/\text{Km}$.
- Reactancia: $0,1344 \text{ } \Omega/\text{Km}$.

Empleando nuevamente la ecuacion 3 se tiene que el porcentaje de caída de tensión viene dado por:

$$\% \Delta V = \frac{100 \cdot 2 \cdot (11,67) \cdot (0,78 \text{ Km}) \cdot \left[\left(1,5811 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot 0,9 + \left(0,1344 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot \text{sen}(\text{acos}(0,9)) \right]}{120 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 2,25 \% < 3\%$$

El calibre seleccionado cumple con el criterio de caída de tensión.

Para seleccionar el valor de la corriente de despeje de la protección eléctrica asociada al circuito, dicha corriente se usará la ecuación 7:

$$11,67 \text{ A} < I_p < 0,72 * 85 \text{ A}$$

$$11,67 A < I_p < 61 A$$

Cumpliendo con la condición anterior se selecciona un disyuntor de capacidad 20A.

De los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los criterios de capacidad de carga, caída de tensión y luego de haber seleccionado la protección eléctrica para el circuito se tiene que:

- Calibre: 16 mm².
- Caída de Tensión: 2,25 %.
- Capacidad del cable en las Condiciones de Instalación: 61 A.
- Protección: Disyuntor de 20 A.

Finalmente se verifica que el calibre de conductor seleccionado respete el criterio de porcentaje de carga utilizando la ecuación 9. El conductor seleccionado presenta el siguiente porcentaje de carga en función de la corriente de su circuito:

$$\%Carga = 100 \cdot \frac{11,67 A}{85 A} = 13,72\% \leq 80\%$$

Este procedimiento se realizó con cada uno de los ramales de los tableros de tomacorrientes, en el anexo II se encuentran las tablas con los dichos cálculos para cada uno.

6.2.3.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

A continuación se desarrolla un cálculo modelo el cual corresponde al circuito ramal 1 del tablero de iluminación uno.

Las características del circuito ramal son las siguientes:

- Circuito ramal 1.1
- Tensión Nominal: 277V.
- Longitud del Circuito: 77 m.
- Factor de Potencia: 0,92.
- Corriente nominal: 3,47 A.

Empleando el criterio de capacidad de carga ecuación 1 del conductor bajo condiciones de instalación, debe cumplir la siguiente condición:

$$I_{cable} * 0,72 > 3,47 A$$

$$I_{cable} > 4,81 A$$

Por lo tanto inicialmente se selecciona un conductor calibre 2,5 mm² cuya corriente nominal es 25 A (conductor tipo RLL al aire), soportando así bajo las condiciones de instalación una corriente máxima de 0,72*25A= 18 A.

Una vez seleccionado el calibre del conductor se procede a verificar que cumpla con el criterio de caída de tensión con la ecuacion 3, considerando que para un conductor de calibre 2,5 mm² (#12 AWG) de tipo RLL sus valores de resistencia y reactancia son los siguientes:

- Resistencia a 90 °C: 10,47 Ω/Km.
- Reactancia: 0,1860 Ω/Km.

$$\% \Delta V = \frac{100 \cdot 2 \cdot (3,47) \cdot (0,077 \text{ Km}) \cdot \left[\left(10,47 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot 0,92 + \left(0,1860 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot \text{sen}(\text{acos}(0,92)) \right]}{277 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 1,87 \% < 3\%$$

El calibre seleccionado cumple con el criterio de caída de tensión.

Para seleccionar el valor de la corriente de despeje de la protección eléctrica asociada al circuito, dicha corriente debe cumplir la ecuación 7:

$$3,47 A < I_p < 0,72 * 25 A$$

$$3,47 A < I_p < 18 A$$

Cumpliendo con la condición anterior se selecciona un disyuntor de capacidad 15A.

De los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los criterios de capacidad de carga, caída de tensión y luego de haber seleccionado la protección eléctrica para el circuito se tiene que:

- Calibre: 2,5 mm².
- Caída de Tensión: 1,87 %.
- Capacidad del cable en las Condiciones de Instalación: 18 A.
- Protección: Disyuntor de 15 A.

Finalmente se verifica que el calibre de conductor seleccionado respete el criterio de porcentaje de carga con la ecuación 9. El conductor seleccionado presenta el siguiente porcentaje de carga en función de la corriente de su circuito:

$$\%Carga = 100 \cdot \frac{3,47 A}{25 A} = 13,88\% \leq 80\%$$

A partir del resultado anterior se observa que el calibre seleccionado cumple con el criterio de porcentaje de carga establecido.

Este procedimiento se realizo con cada uno de los ramales de los tableros de iluminación, en el anexo II se encuentran las tablas con los dichos calculos para cada uno.

6.2.3.3 SISTEMA DE FUERZA DE BAJA TENSION

Las características del circuito subalimentador son las siguientes:

- # Fases: 3.
- Tensión Nominal: 480V.
- Longitud del Circuito: 133 m.
- Potencia: 18 Hp (Motor).
- Factor de Potencia: 0,8.
- Corriente Nominal: 24,58 A (Según TABLA 430.150 CEN 2009 “Corriente a Plena Carga en Amperios – Motores Trifásicos de Corriente Alterna”)
- Corriente de cortocircuito: 0,805 kA.

Según lo establecido anteriormente la capacidad del conductor bajo condiciones de instalación, debe cumplir con la ecuacion 2:

$$I_{cable} * 0,72 > 1,25 * 24,58 A$$

$$I_{cable} > 42,67A$$

Por lo tanto inicialmente se selecciona un conductor calibre 10 mm² cuya corriente nominal es 63 A (conductor tipo RLL al aire), soportando así bajo las condiciones de instalación una corriente máxima de 0,72*63A= 45,36 A.

Una vez seleccionado el calibre del conductor se procede a verificar que cumpla con el criterio de caída de tensión, a partir de la ecuación definida

anteriormente, considerando que para un conductor de calibre 10 mm^2 (#6 AWG) de tipo RLL sus valores de resistencia y reactancia son los siguientes:

- Resistencia a $90 \text{ }^\circ\text{C}$: $2,4864 \text{ } \Omega/\text{Km}$.
- Reactancia: $0,1428 \text{ } \Omega/\text{Km}$.

$$\% \Delta V = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot (24,58) \cdot (0,133 \text{ Km}) \cdot \left[\left(2,4864 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot 0,8 + \left(0,1428 \frac{\Omega}{\text{Km}} \right) \cdot \text{sen}(\text{acos}(0,8)) \right]}{480 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 2,45 \% < 3\%$$

Para seleccionar el valor de la corriente de despeje de la proteccion electrica asociada al circuito, dicha corriente debe cumplir la ecuación 8:

$$1,25 * 24,58 \text{ A} < I_p < 0,72 * 63 \text{ A}$$

$$30,72 \text{ A} < I_p < 45,36 \text{ A}$$

Cumpliendo con la condición anterior se selecciona un disyuntor de capacidad 40A.

Es necesario garantizar que el conductor seleccionado soporte un tiempo de cortocircuito superior al tiempo de apertura de los interruptores de 480 VAC, el cual fue establecido en 1 segundo.

A partir de la ecuación 10 se obiente la corriente de cortocircuito que soporta el conductor calibre 10 mm^2 durante un segundo (tiempo de apertura del disyuntor):

$$I_{cc} = \frac{146 * 10}{\sqrt{1}}$$

$$I_{cc} = 1,46 \text{ kA}$$

La corriente de cortocircuito que aguanta el conductor 10 mm² durante 1 segundo es mayor a la corriente de cortocircuito que circulará por el cable en caso de una falla en la carga. Por lo tanto el cable está protegido contra los efectos de la corriente de cortocircuito.

De los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los criterios de capacidad de carga, caída de tensión y luego de haber seleccionado la protección eléctrica para el circuito se tiene que:

- Calibre: 10 mm².
- Caída de Tensión: 2,45 %.
- Capacidad del cable en las Condiciones de Instalación: 45 A.
- Protección: Disyuntor de 40 A.

Finalmente se verifica que el calibre de conductor seleccionado respete el criterio de porcentaje de carga ecuación 9. El conductor seleccionado presenta el siguiente porcentaje de carga en función de la corriente de su circuito:

$$\%Carga = 100 \cdot \frac{24,58 A}{63 A} = 39,02\% \leq 80\%$$

A partir del resultado anterior se observa que el calibre seleccionado cumple con el criterio de porcentaje de carga establecido

Este procedimiento se realizó con cada uno de los sub-alimentadores, en el anexo II se encuentran las tablas con los dichos cálculos para cada uno.

CAPITULO VII

DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

7.1 SISTEMA PUESTA A TIERRA

El diseño de puesta a tierra de la estación Ayacucho está basado en los estándares de la norma IEEE 80-2000, para el cálculo utilizando el software ETAP.

7.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Se tomaron como criterios de diseño los siguientes:

- El valor máximo de resistencia del sistema puesta tierra será de 2 Ohm de acuerdo a lo indicado en el punto 24.10.2 del Cap. 24 de Electricidad de las Normas de Proyecto de CAMC.
- Sección del conductor de los lazos internos de la malla de puesta a tierra (cobre) = 95 mm² (4/0 AWG)
- Sección del conductor de los lazos externos de la malla de puesta a tierra (cobre) = 120 mm² (250 MCM)
- El tiempo de despeje de falla a tierra considerado en el estudio fue de 0.3 segundos para el cálculo del conductor de la malla de la estación.
- Temperatura del ambiente 40 °C.
- Profundidad de la malla de tierra de sesenta centímetros (60 cm) debajo de la de la losa base de la estación.
- Peso promedio de persona afectada: 50kg.

7.1.2 RESISTIVIDAD DEL SUELO

Para la elaboración del estudio se obtuvieron los valores de resistividad del suelo a partir del documento “Estudio de Suelos y Calidad de Pavimentos para Mejoras Viales y Estudio de Resistividad del Suelo para Diseño de Sistema de Puesta a Tierra de la Estación Ayacucho del Sistema de Transporte Masivo de Los Altos Mirandinos (STMAM), Estado Miranda” en donde se indican los siguientes valores de resistividad:

- Capa 1: Una capa superficial de 0,5 y 2 metros asociada a suelos relativamente más resistivos y secos, removidos.
- Capa 2: Una segunda capa de espesor entre 5,5 y 5,9m con valores de resistividad que van de 22 a 88 $\Omega \cdot m$, asociada a suelos aluviales-coluviales.
- Capa 3: Una tercera unidad asociada a un material conductivo entre 5 y 10 $\Omega \cdot m$, asociada a limos arcillosos, presentes entre de 4-7 m y 9,4-15m.

7.1.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para realizar el calculo del sistema puesta tierra es necesario conocer la elevacion de potencial a tierra, que esta la elevacion de potencial de la mala a tierra respecto a un punto distante que se asume de potencial cero. Este valor se obtiene a traves de la siguiente ecuación:

$$GPR = R_g * I_g \quad (11)$$

Donde:

GPR = Elevacion de potencial [V]

I_g = Maxima corriente de falla a tierra [A]

R_g = Resistencia de la malla de puesta a tierra [Ω]

Es necesario realizar el calculo de la tension de toque y la tension de paso para continuar con el diseño de la malla de puesta.

La diferencia de potencial superficial experimentada por una persona con los pies separados a un (1) metro sin hacer contacto con ningun otro objeto puesto a tierra se conoce como tension de paso y esta dada por la siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{K_p * (1000 + 6 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_s}} \quad (12)$$

Dónde:

K_p = Coeficiente de corrección en función del peso de las personas, valor 0,157 para personas con peso de 70 kg y 0,116 para personas con peso de 50 Kg.

ρ_s = Resistividad de la superficie [$\Omega \cdot m$]

t_s = Es el tiempo de duración del shock eléctrico en el cuerpo humano.

C_s = Coeficiente de corrección en función del espesor h_k y resistividad ρ_k del revestimiento superficial utilizado (piedra picada). Igual a 1 cuando no hay revestimiento. El valor de C_s se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C_s = \frac{0,09 * (1 - \frac{\rho_k}{\rho_s})}{2 * h_s + 0,09} \quad (13)$$

La diferencia entre el máximo potencial eléctrico en la malla a tierra y el potencia superficial en el punto donde una persona está de pie y hace contacto con el

objeto puesto a tierra se conoce como tensión de toque y está dada por la siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{K_p * (1000 + 1,5 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_s}} \quad (14)$$

Dónde:

K_p = Coeficiente de corrección en función del peso de las personas, valor 0,157 para personas con peso de 70 kg y 0,116 para personas con peso de 50 Kg.

ρ_s = Resistividad de la superficie [$\Omega \cdot m$]

t_s = Es el tiempo de duración del shock eléctrico en el cuerpo humano.

C_s = Coeficiente de corrección en función del espesor

En el diseño de la malla de tierra se debe cumplir siempre que el valor máximo de voltaje de toque debe ser inferior al valor del voltaje de toque tolerable, es decir:

$$E_{tcal} < E_{ttol} \quad (15)$$

En el diseño de la malla de tierra se debe cumplir siempre que el valor máximo de voltaje de paso debe ser inferior al valor del voltaje de paso tolerable, es decir:

$$E_{scal} < E_{stol} \quad (16)$$

Para el diseño de la malla de tierra, se utilizara la máxima corriente de falla a tierra, que circulará desde la malla hacia la tierra (I_g), la cual es generada por medio de la simulación en el ETAP, considerando los siguientes factores:

- Factor de incremento de la corriente cortocircuito a futuro (C_p).
- Factor que toma en cuenta la porción de corriente de falla que circula de la malla de tierra a la tierra circundante (S_f).
- Factor de decremento (D_f), el factor de decremento toma en cuenta el efecto del desplazamiento de la corriente continua y la atenuación de las componentes transitorias de corriente alterna y de directa de la corriente de falla. Este valor es arrojado automáticamente por el programa de cálculo ETAP por medio de las siguientes ecuaciones:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} * \left(1 - e^{-\frac{2*t_f}{T_a}}\right)} \quad (17)$$

Dónde:

T_a : Constante de tiempo de la componente DC [seg]

t_f : Duración de la falla en segundos [seg]

Para el calculo de la constante de tiempo de la componete DC el programa ETAP utiliza la siguiente ecuacion:

$$T_a = \frac{X}{R} * \frac{1}{2 * \pi * f} \quad (18)$$

Dónde:

X/R : Componente de la impedancia subtransitoria de falla

f : Frecuencia del sistema [Hz]

Para el diseño de la malla de puesta a tierra de la estación se consideraro el valor de corriente simétrica de secuencia cero de 5,610 kA en 480 V.

El cálculo de la corriente I_g que fluye por el suelo es el siguiente:

$$I_g = C_p * D_f * S_f * I_f \quad (16)$$

Donde:

C_p = Incremento futuro 1,1

D_f = Factor de decremento

S_f = Factor de la proporción de la corriente que fluye a través del suelo, provocando GPR (elevación del potencial de la malla)

I_f : Corriente eficaz simétrica fase-tierra [A]

A partir de esto se obtienen el siguiente valor de I_g :

Tabla 21 Tabla de cálculo de corriente a tierra.

C_p	D_f	S_f (%)	I_f (kA)	I_g (kA)
1,1	1,011	10	5,61	0,624

Esto quiere decir que la corriente máxima que circula de la malla a tierra tiene un valor de 0,624 kA en 480 Vca y el 90 % la corriente retornará por el neutro del transformador sin generar tensiones de toque y de paso y un 10% generará tensiones de toque y paso, para el cual se realizará el análisis de la condición por contacto accidental verificándose que, en base al diseño de la malla realizado, se cumpla que las tensiones de toque y de paso estén por debajo de los límites permitidos para un contacto accidental a través de los circuitos equivalentes.

Tabla 21 Tabla de comparación de tensiones de paso y tensiones de toque.

If (kA)	E _{cal} (V)	E _{tol} (V)	E _{scal} (V)	E _{stol} (V)	R _g (ohm)
5,61	48,9	1191,5	25,8	4273,7	0,439

Se puede observar que las tensiones de paso y de toque obtenidas con el diseño propuesto por el programa ETAP están por debajo de las tensiones de paso y toque calculadas con las ecuaciones 12 y 14, además se obtuvo una resistencia menor a 2Ω lo que permite decir que el diseño obtenido es viable para el sistema de puesta a tierra de la estación.

7.1.4 IMPLEMENTACION DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Se implementará una malla de puesta a tierra con cable de cobre desnudo calibre de 120 mm² en el lazo externo y 95 mm² en el lazo interno, en la Estación Ayacucho, enterrada a 0,6 metros debajo de la superficie de la losa base.

En vista de que el cuerpo de la estación y el edificio técnico se encuentran separados por un río, se procederá a instalar dos mallas de Puesta a Tierra: Una bajo el andén y otra bajo el edificio técnico. Los cálculos se realizaron considerando una malla continua que contemple el área de ambos terrenos, obteniendo así una malla conformada por un lazo externo de 120mm², de forma rectangular de (180 m x 24 m), incluyendo lazos internos con cable de 95 mm². Para efectos prácticos se dispondrá de 2 mallas interconectadas con las siguientes características:

- Malla Bajo Andén: Lazo externo rectangular de 160 m x 24 m de 120mm², incluyendo lazos internos de 95 mm² y 8 barras de cobre de 3 m de longitud y 5/8" de diámetro. Las retículas internas serán de 12,3 m x 6 m.
- Malla Bajo Edificio Técnico: Lazo externo rectangular de 90 m x 12 m de 120mm², incluyendo lazos internos de 95 mm² y 4 barras de cobre de 3 m

de longitud y 5/8'' de diámetro. Las retículas internas serán de 12,85 m x 6 m.

CAPITULO VIII

DESARROLLO DE PLANOS, MEMORIAS DESCRIPTIVAS Y DE CÁLCULO DE LA ESTACION AYACUCHO

8.1 DESARROLLO DE DOCUMENTACION

Para esta etapa se desarrollaron los documentos solicitadas por la empresa Metro los Teques, la misma separa esta documentación en dos tipos: la memoria descriptiva y calculo, el cual es un escrito que contiene las normas, criterios y cálculos empleados para la elaboración del proyecto y los planos que son la representación gráfica de la disposición de los elementos que conforman los sistemas diseñados.

En este sentido se presentaran dos documentos correspondientes a memorias descriptivas y cálculo. Uno de ellos dedicado a los sistemas de tomacorrientes, iluminación y fuerza de baja tensión de la estación Ayacucho. El otro contendrá la información relativa al sistema de puesta a tierra de la estación. El formato de los mencionados documentos fue desarrollado según las exigencias expuestas en las normas de proyecto de la empresa Metro Los Teques.

Además de las memorias descriptivas se desarrollaron una serie de conjuntos de planos, cada uno de ellos dedicados a la representación de las canalizaciones eléctricas para los diferentes sistemas diseñados.

En la figura 16 se muestra la portada de la memoria descriptiva y de calculo de los sistemas de tomacorriente, iluminación y fuerza de baja tensión, en esta se puede observar que contiene los logos correspondientes a Consorcio Linea II y de la

empresa Metros de los Teques, también se puede observar que contiene en la parte superior la codificación y su título del documento. En la parte inferior se observa un cajetín que contiene la información de el ingeniero que presentara el proyecto ante la compañía Metro de los Teques y el ingeniero revisor.

 CONSORCIO LÍNEA II	 Línea 2 El Tambor – San Antonio
DOCUMENTO N° EAPTAT03AYA-IE401CAL-A00 TÍTULO: MEMORIA DE CÁLCULOS GENERAL – ESTACIÓN AYACUCHO – PROYECTO DE DETALLE	

MEMORIA DE CÁLCULOS GENERAL
 PROYECTO DE DETALLE
 ESTACIÓN AYACUCHO
 C.A. METRO DE LOS TEQUES

REVISIÓN II			
CONSORCIO LÍNEA II		C. A. METRO LOS TEQUES	
PREPARADO POR: MARCOS OVALLES C.I.V. 122.094 FIRMA:	REVISADO POR: MARILU PERDOMO C.I.V. 130.201 FIRMA:	REVISADO POR: FIRMA:	APROBADO POR: FIRMA:
REVISIÓN I			
PREPARADO POR: FIRMA:	REVISADO POR: FIRMA:	REVISADO POR: FIRMA:	APROBADO POR: FIRMA:
REVISIÓN 2			
PREPARADO POR: FIRMA:	REVISADO POR: FIRMA:	REVISADO POR: FIRMA:	APROBADO POR: FIRMA:

Figura 16. Portada de memoria de Metro de los Teques

En los anexo III se presentan la memoria descriptiva y de cálculo de los sistemas de tomacorrientes, iluminación y fuerza de baja tensión. Seguidamente se presenta el mismo documento para el sistema de puesta a tierra. En ese mismo orden se muestran los conjuntos de planos relativos al sistema de tomacorrientes, el sistema de iluminación, el sistema de fuerza de baja tensión y finalmente el sistema de puesta a tierra.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de tomacorrientes de la estación Ayacucho estará conformada por dos tableros de distribución trifásicos, los cuales, cada uno, deberán contar con al menos veinte polos para la conexión de circuitos ramales. Se contempla que de los tableros se alimentan circuitos generales y especiales, donde los primeros servirán para transmitir potencia en ciento veinte Volts (120V) entre fase y neutro, mientras que los segundos en doscientos ocho Volts (208V) entre fases. Estos tableros recibirán energía a través de circuitos sub-alimentadores trifásicos de cuatrocientos ochenta Volts (480V). Cada tablero contara con arreglos de transformadores que llevaran las tensiones de los circuitos sub-alimentadores a tensiones trifásicas de doscientos ocho Volts (208V) de las cuales se alimentarán las barras de los polos de los tableros. Se ha calculado que la potencia que debe suministrar cada tablero de tomacorrientes debe ser de treinta kilo Volt Amper (30kVA).

Por otra parte el sistema de iluminación estará compuesto por tres tableros de distribución. En dos de ellos se conectaran las luminarias que forman parte de la iluminación normal de la estación, mientras que del tercero se conectaran las luminarias que conforman al sistema de iluminación de emergencia. Los tableros de iluminación normal serán alimentados a través de circuitos alimentadores en cuatrocientos ochenta Volts (480V). El tablero de iluminación de emergencia recibirá su alimentación desde un sistema de energía ininterrumpida basado en un arreglo de baterías, rectificador e inversor. Los tableros de iluminación normal contarán con treinta polos mientras que el tablero de iluminación de emergencia contendrá veintiún (21) polos. Todas las luminarias operaran con doscientos setenta y siete Volts (277V) de tipo fluorescente.

Es sistema de fuerza baja tensión fue diseñado según la filosofía de la empresa Metro Los Teques C.A. Bajo las premisas planteadas por la empresa se realizó el cálculo de los dos transformadores de potencia del centro de distribución. En tal sentido se obtuvo que la potencia de los transformadores debía ser de trescientos kilo Volt Amper (300kVA). Las barras conectadas a cada transformador deberán ser capaces de soportar corrientes de hasta cinco mil seiscientos kilo Amper (5,6kA). La composición del centro de distribución de potencia contara con un generador de energía para suplir energía eléctrica a cargas importantes durante contingencias eléctricas, la potencia de este generador, según lo calculado, será de doscientos kilo Volt Amper (200VA).

El sistema de puesta a tierra será capaz de drenar una corriente de cortocircuito de cinco mil seiscientos kilo Amper (5,6kA), que en el caso de presentarse se producirá una tensión de toque y de paso muy inferior a las establecidas en los cálculos. El valor de la resistencia del sistema es de aproximadamente de ocho décimas de OHM (0,8OHM), cumpliendo así con el valor solicitado por la empresa, la cual exige que dicho valor sea inferior a dos Ohm (2Ω).

Se presentan las siguientes recomendaciones:

- En los sistemas de tomacorrientes e iluminación debe considerarse la instalación de tableros de forma distribuida a lo largo de la estación, ya que la normativa de la empresa exige que dichos equipos se encuentren ubicados en el centro de distribución de potencia, lo cual obliga a la canalización de una gran cantidad de circuitos ramales, a través de largas distancias, haciendo que el calibre de los conductores sea muy alto para compensar las pérdidas por caída de tensión obtenidos en los cálculos.
- La empresa Metro Los Teques C.A. debe considerar para futuras estaciones el uso de luminarias basadas en LED, considerando las ventajas en rendimiento de estas.

BIBLIOGRAFIA

FONDONORMA, NTF 200:2009 Código Eléctrico Nacional, Caracas, 2009.

C.A. METRO DE CARACAS, Normas de Proyecto, Caracas 1990.

E.S. Villaroel S., Manual para el Diseño de Instalaciones Eléctricas Industriales Livianas, Caracas, 2008.

O. Penissi, Canalizaciones Eléctricas Residenciales, Caracas.

COVENIN, 2784 Tableros Eléctricos de Media y Baja Tensión. Empaque, Carga, Transporte y Almacenamiento, 1998.

COVENIN, 2800 Tableros Eléctricos de Media y Baja Tensión. Instalación y Puesta en Servicio, 1998.

COVENIN, 2811 Tableros Eléctricos en Media y Baja Tensión, 1998.

COVENIN, 159, Tensiones Normalizadas de Servicio, 2005.

IEEE, Std 80, Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000.

COVENIN, 2249, Iluminancias en Tareas y Áreas de Trabajo, 1993.