ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.
Instituto
DESARROLLO URBANO

“ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.”

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1630 DE 2020

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

INF-RSG--CASC-225-21

Informe Etapa de Diseños
Componente Redes Secas
Informe traslado transformador CD:20430 – Interferencias No 7 y 8

CONSORCIO CS

CONSORCIO CS
Cal y Mayor Colombia S.A.S.
Supering
Supervisión e Ingeniería de Proyectos

BOGOTÁ, 2022 – Junio

PRODUCTO DOCUMENTAL

INF-RSG--CASC-225-21

Informe Etapa Diseño
Componente Redes Secas
Informe redes distribución BT urbanismo Victoria – Serie 5

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 00	12/06/2022	Versión ENEL-CODENSA	27

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

EMPRESA CONTRATISTA

Instituto de Desarrollo Urbano

VALIDADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Ing. Diego Fernando Devia N. Especialista Redes Secas	Ing. Alexander Uribe. Especialista Redes Secas	Ing. Mario Ernesto Vacca G. Director de Consultoría

REVISADO POR:	AVALADO POR:	APROBADO POR:
Ing. José Norberto Velandia Especialista en redes eléctricas, gas, teléfono, fibra óptica	Ing. Wilmer Alexander Rozo Coordinador de Interventoría	Ing. Oscar Andrés Rico Gómez Director de Interventoría

Tabla de contenido

1 INTRODUCCIÓN 5
1.1 OBJETIVO GENERAL 6
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
2 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 7
3 NORMATIVILIDAD APLICADA 7
4 ANALISIS Y CUADROS DE CARGAS INICIALES Y FUTURAS, INCLUYENDO ANÁLISIS DE FACTOR DE POTENCIA Y ARMÓNICOS 7
5 ANALISIS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO 8
6 ANALISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS 8
7 ANALISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELECTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS 9
7.1. FACTORES DE RIESGO DE ORIGEN ELECTRICO 9
7.2. CRITERIOS DE EVALUACION 11
7.3. CONCLUSIONES DEL RIESGO ELECTRICO 13
8 ANALISIS DE NIVEL DE TENSION 13
9 CÁLCULO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS 13
10 CÁLCULO DE TRANSFORMADORES 13
11 CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA 14
12 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES A UTILIZAR EN MEDIA TENSIÓN Y BAJA TENSIÓN 15
13 SELECCIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES MT_BT 15
14 CÁLCULO ECONÓMICO DE LOS CONDUCTORES 17
15 CALCULO DE CANALIZACIONES 18
16 CALCULOS PERDIDAS DE ENERGIA 21
17 CALCULOS DE REGULACION DE TENSION 22
18 CALCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECIÓN DE EQUIPOS 23
19 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE FASE Y TIERRA BAJO LOS PARÁMETROS DE LA NORMA IEEE STD 242 DE 2001 O IEC 60909 DE 2001 26
20 CLASIFICACION DE AREAS 26
21 CALCULO DE BARRAJES (SECCION mm^2) 26
22 CALCULO Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA 27
23 CONCLUSIONES 27

Índice de Figuras

Figura 1 - Ubicación del transformador CD:20430 75 kVA. *5*
Figura 2 - Subterranización de los ramales 1 y 2 ..... *6*
Figura 3- Localización General del Proyecto *7*
Figura 4 - Accesorios para puesta a tierra inmersa instalación poste de concreto *14*
Figura 5- Montaje en poste de transformador trifásico (a) vista frontal y (b) vista en perfil. *24*

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Índice de Tablas

Tabla 1. Cargas Ramales redes distribución baja tensión. 8
Tabla 2. Análisis de riesgo eléctrico – Contacto directo. 10
Tabla 3. Análisis de riesgo eléctrico – Arco eléctrico. 11
Tabla 4. Criterios de evaluación de riesgo eléctrico. 12
Tabla 5. Características de los conductores de aluminio para la red subterranea. 15
Tabla 6 - Valores de capacidad nominal del transformador a proteger en kVA 16
Tabla 7 - Colores de la Shakira según el nivel de corriente 16
Tabla 8 – Calculo económico de conductores. 18
Tabla 9 - Selección del diámetro de ducto. 19
Tabla 10 - Características geométricas del tubo conduit PVC tipo EB. 19
Tabla 11 - Cálculos del porcentaje de ocupación del tubo seleccionado red BT. 20
Tabla 12 - Profundidades mínimas de enterramiento de redes eléctricas subterráneas. 20
Tabla 13. Cálculos del porcentaje de ocupación del tubo seleccionado acometida. 21
Tabla 14 - Cálculos del porcentaje de perdidas del ramal 1. 22
Tabla 15 - Cálculos del porcentaje de perdidas del ramal 2. 22
Tabla 16 - Cálculos del porcentaje de regulación de tensión Ramal 1. 22
Tabla 17 - Cálculos del porcentaje de regulación de tensión Ramal 2. 23
Tabla 18 - Descripción de elementos de la estructura Montaje en poste de transformador trifásico 25
Tabla 19 - Barrajes para circuitos subterráneos BT 26

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

1 INTRODUCCIÓN

Este documento contiene las memorias de cálculos para realizar el traslado del transformador CD:20430 ubicado en la Calle 41 Sur Con Carrera 3a Este (figura 1), modificar las longitudes de dos ramales que están conectados a este equipo y el retiro del ramal 3. El presente proyecto hace parte de la solución de las Interferencias No 7 y 8 de red desnuda MT con la futura línea del Cable Aéreo San Cristóbal y a su vez, de la etapa de diseños del contrato “Actualización, Ajustes y del de la Factibilidad y Estudios y Diseños del Cable Aéreo en San Cristóbal, En Bogotá D.C.”.

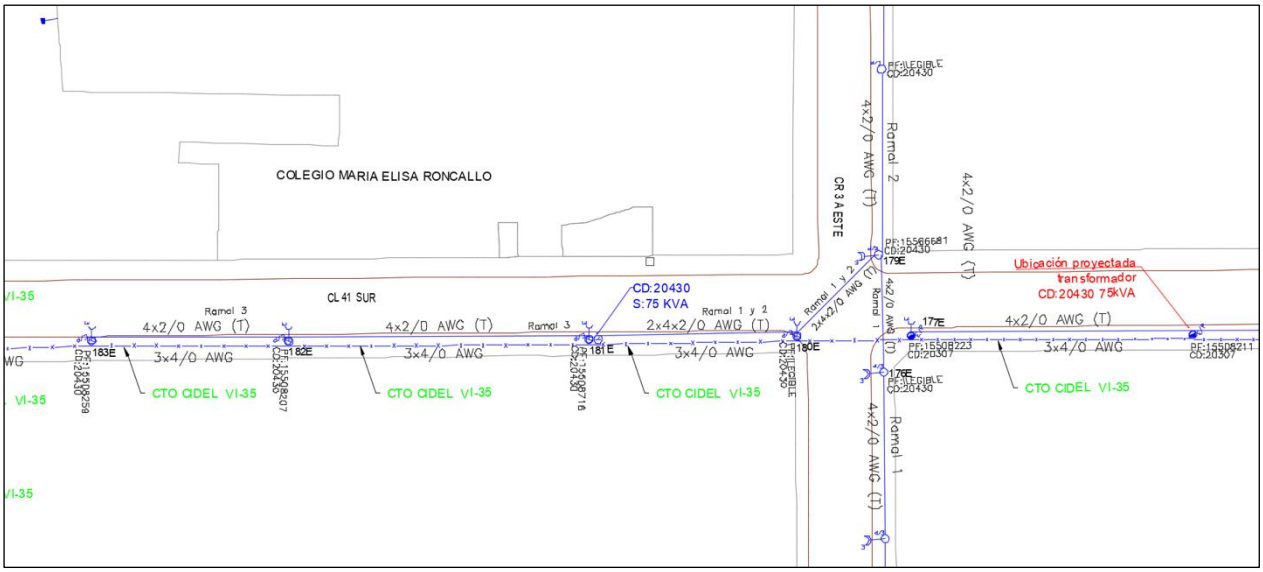

Figura 1 - Ubicación del transformador CD:20430 75 kVA.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

Se plantea el desmonte y la instalación del transformador CD:20430 al poste más cercano con red MT, con el fin de poder realizar un rescate vertical seguro en el caso que sea requerido durante la explotación del cable aéreo. Adicionalmente, en este proyecto se tiene en cuenta el urbanismo proyectado para la estación Victoria, por lo tanto, se plantea la subterranización del ramal 1 y un segmento de 65 m en el ramal 2 (Figura 2).

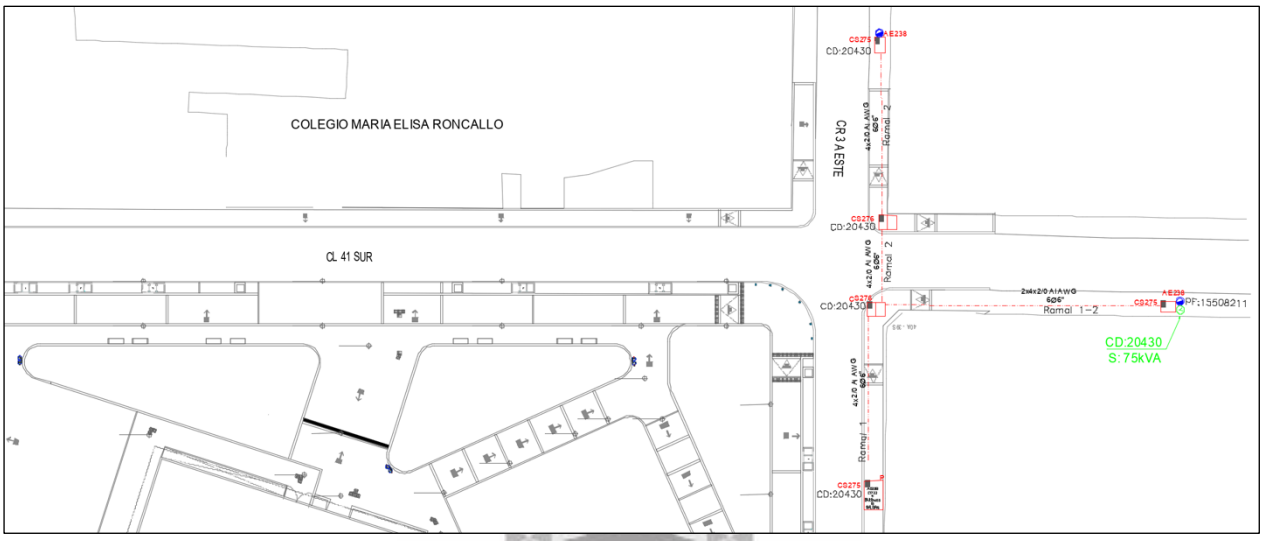

Figura 2 - Subterranización de los ramales 1 y 2

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar las memorias de cálculo para trasladar el transformador CD:20430 de acuerdo a lo exigido en la Guía para la presentación de proyectos de conexión con convenio ENEL-CODENSA – Serie 5 - Transformador en poste.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar cada uno de los cálculos exigidos en la Guía ENEL-CODENSA conforme a la normatividad y reglamentación vigente.

- Describir detalladamente los modelos matemáticos usados para realizar los cálculos de regulación de tensión y pérdidas de energía, para los conductores de distribución de baja tensión.

2 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto del Cable San Cristóbal se desarrolla en la localidad de San Cristóbal, el cual contemplan dos tramos. El primer tramo inicia desde la estación 20 de Julio ubicada en la Calle 30A sur con carrera quinta y finaliza en la estación motriz ubicada en el barrio la Victoria entre las calles 40 y 41 Sur, y carreras 3A Este y 3C Este. El segundo tramo inicia en la estación motriz y finaliza en la estación retorno, ubicada en el barrio la Altamira en la calle 42B sur y 43A sur, entre las carreras 12A y 12B este.

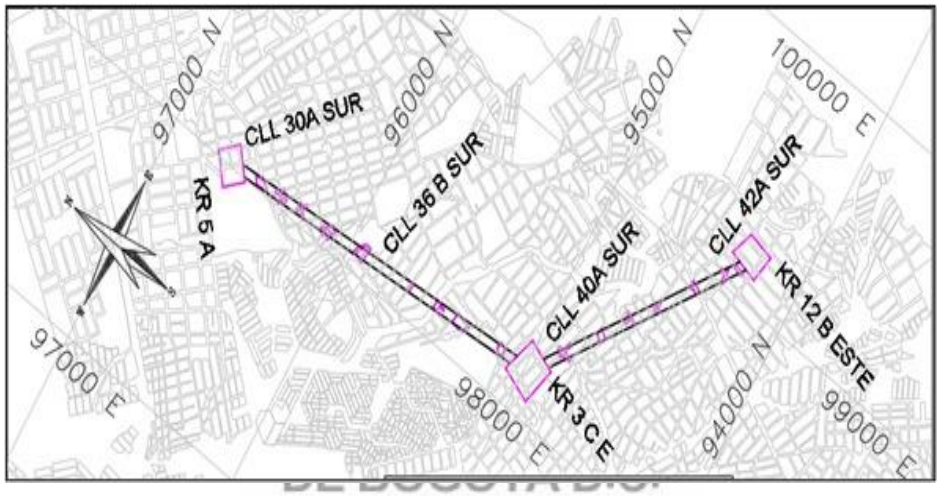

Figura 3- Localización General del Proyecto

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

Instituto de Desarrollo Urbano

3 NORMATIVILIDAD APLICADA

- NTC 2050 “Norma Técnica Colombiana”
- Normas ENEL-CODENSA.
- CREG 070 de 1998
- RETIE “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas”

4 ANALISIS Y CUADROS DE CARGAS INICIALES Y FUTURAS, INCLUYENDO ANÁLISIS DE FACTOR DE POTENCIA Y ARMÓNICOS

Teniendo en cuenta que del transformador CD:20430 quedará con dos ramales trifásicos (figura 2), cada uno con cable No 2/0 AWG, se considera una carga equivalente en cada circuito de 18 kVA. Se aclara que por la construcción de la estación Victoria el ramal No 3 se elimina y a los ramales 1 y 2 no se les añadirá carga.

En cuanto al urbanismo de las dema, de igual manera la carga requerida para cada vivienda se toma de acuerdo a las tablas de demanda diversificada de ENEL-CODENSA.

TRANSFORMADOR CD:57723 - RAMAL 1			
CARGA	USUARIOS	KVA X USUARIO	TOTAL KVA
VIVIENDAS	26	0,81	21,06

TRANSFORMADOR CD:57723 - RAMAL 2			
CARGA	USUARIOS	KVA X USUARIO	TOTAL KVA
VIVIENDAS	1	3,5	3,5

Tabla 1. Cargas Ramales redes distribución baja tensión.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

5 ANALISIS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO

Con el fin de establecer unos parámetros mínimos de seguridad en los trabajadores frente al riesgo de origen eléctrico en el área de trabajo, operaciones y maniobras, se presenta el siguiente análisis.

Entre las actividades laborales que se deben considerar para evaluar el riesgo están:

1. Personas que operan equipos eléctricos o realizan instalaciones eléctricas.
2. Personas que realizan mantenimiento en sistemas eléctricos.
3. Personas que no intervienen en instalaciones eléctricas, pero trabajan cerca de ellas.

6 ANALISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

No se presentan los análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos, toda vez que el presente proyecto consiste en trasladar el transformador CD:20430 existente, sin alterar la configuración actual de la red, por lo tanto, dicho análisis no aplica.

7 ANALISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELECTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS

Con el fin de establecer unos parámetros mínimos de seguridad en los trabajadores frente al riesgo de origen eléctrico en el área de trabajo, operaciones y maniobras, se presenta el siguiente análisis.

Entre las actividades laborales que se deben considerar para evaluar el riesgo están:

4. Personas que operan equipos eléctricos o realizan instalaciones eléctricas.
5. Personas que realizan mantenimiento en sistemas eléctricos.
6. Personas que no intervienen en instalaciones eléctricas pero trabajan cerca a ellas.

7.1. FACTORES DE RIESGO DE ORIGEN ELECTRICO

De la Tabla 9.5 del RETIE se toman los siguientes factores de riesgo que aplican en el presente proyecto:

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

1. **Arco eléctrico**: Contactos flojos, cortocircuito, apertura de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores.

   Medida de protección: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos eléctricos, mantener distancias de seguridad, usar mono gafas de protección contra rayos ultravioleta

2. **Contacto directo**: Por negligencia de operarios o impericia.

   Medida de protección: Cumplir con distancias de seguridad, aislamiento o recubrimiento de partes energizadas, utilización de interruptores, elementos de protección personal de acuerdo al nivel de tensión, puesta a tierra, probar ausencia de tensión.

3. **Contacto indirecto**: fallas a tierra, rayos, fallas de aislamiento, no cumplir con distancias de seguridad.

   Medida de protección: Puesta a tierra de baja resistencia, restricción a acceso a partes energizadas, alta resistividad del piso, equipotencializar.

4. **Tensión de paso**: descarga atmosférica, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.

   Medida de protección: Puesta a tierra de baja resistencia, restricción a accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

5. **Cortocircuito**: fallas de aislamiento, impericia de los operarios, accidentes externos, vientos fuertes, humedades.

   Medida de protección: interruptores automáticos con dispositivo de disparo de máxima corriente, cortacircuitos, fusibles.

6. **Sobrecarga**: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos.

   Medida de protección: Interruptores automáticos con relé de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles, dimensionamiento de conductores y equipos.

RIESGO A EVALUAR:	Contacto directo (EVENTO O EFECTO; Ej: Quemaduras)	por	riesgo eléctrico (FACTOR DE RIESGO (CAUSA); Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	línea energizada (FUENTE; Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X]	REAL [ ]	FRECUENCIA				

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E No ha ocurrido en el sector	D Ha ocurrido en el sector	C Ha ocurrido en la Empresa	B Sucede varias veces al año en la Empresa	A Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO X	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Tabla 2. Análisis de riesgo eléctrico – Contacto directo.

Fuente – RETIE

RIESGO A EVALUAR:	Quemaduras (EVENTO O EFECTO – Ej: Quemaduras)	por	arco eléctrico (FACTOR DE RIESGO (CAUSA) – Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	red de BT 120/240 (FUENTE – Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X]	REAL [ ]	FRECUENCIA				
		E	D	C	B	A
		No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día) X	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO X	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Tabla 3. Análisis de riesgo eléctrico – Arco eléctrico.

Fuente – RETIE

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

7.2. CRITERIOS DE EVALUACION

En la tabla 4 se presentan los criterios de evaluación de riesgo eléctrico establecidos por el RETIE.

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	***Inadmisible para trabajar.*** Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	***Minimizarlo.*** Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	***Aceptarlo.*** Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	***Asumirlo.*** Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: • ¿Qué puede salir mal o fallar? • ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? • ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades.

Tabla 4. Criterios de evaluación de riesgo eléctrico.

Fuente – RETIE

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

De acuerdo con el ítem 9.2.2 del RETIE, para evaluar la existencia de alto riesgo, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- *"Que existan condiciones peligrosas, plenamente identificables, especialmente carencia de medidas preventivas específicas contra los factores de riesgo eléctrico; equipos, productos o conexiones defectuosas; insuficiente capacidad para la carga de la instalación eléctrica; violación de distancias de seguridad; materiales combustibles o explosivos en lugares donde se pueda presentar arco eléctrico; presencia de lluvia, tormentas eléctricas y contaminación*.

- *Que el peligro tenga un carácter inminente, es decir, que existan indicios racionales de que la exposición al factor de riesgo conlleve a que se produzca el accidente. Esto significa que la muerte o una lesión física grave, un incendio o una explosión, puede ocurrir antes de que se haga un estudio a fondo del problema, para tomar las medidas preventivas*.

- *Que la gravedad sea máxima, es decir, que haya gran probabilidad de muerte, lesión física grave, incendio o explosión, que conlleve a que una parte del cuerpo o todo, pueda ser lesionada de tal manera que se inutilice o quede limitado su uso en forma permanente o que se destruyan bienes importantes de la instalación o de su entorno.*

- *Que existan antecedentes comparables, el evaluador del riesgo debe referenciar al menos un antecedente ocurrido con condiciones similares"*.

7.3. CONCLUSIONES DEL RIESGO ELECTRICO

El nivel de riesgo se determina “RIESGO MEDIO”, toda vez que el desmonte, traslado e instalación del transformador CD:20430 se deberá realizar con personal calificado y certificado para trabajos en alturas con sus respectivos elementos de protección personal, tomando medidas preventivas de señalización del área de trabajo mediante delineadores tubulares y cinta de peligro, sin exposición a lluvias o tormentas eléctricas, con las líneas eléctricas desenergizadas, usando la puesta a tierra. Las conexiones finales y energización del proyecto estará a cargo de CODENSA.

8 ANALISIS DE NIVEL DE TENSION

Para diseño se requiere el siguiente nivel de tensión, junto con la siguiente regulación máxima permitida y tipo de tarifa:

Nivel de tensión: *Norma CODENSA 7.1.5.1 - Desde las redes de distribución secundaria*

Trifásico a 208/120 V (+ 5%, - 10%) mediante acometida de dos conductores conectadas a fases y uno al neutro.

Regulación máxima permitida: *Norma CODENSA 7.1.6 – Regulación de Tensión.*

El límite de regulación de tensión en los circuitos urbanos de CODENSA es de 3% para acometidas desde bornes del transformador.

Tipo de tarifa: *Norma CODENSA 7.1.8 – Tipo de tarifa de energía*.

Tipo de Servicio: residencial.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

9 CÁLCULO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

No aplica para este proyecto; debido a que la red de media tensión aérea es existente y a una distancia considerable (Permanencia mayor a 8 horas).

10 CÁLCULO DE TRANSFORMADORES

No se presentan los Cálculos de Transformadores, toda vez que el presente proyecto consiste en trasladar el transformador CD:20430 existente, al que no se le instalará cargas nuevas, en consecuencia, este punto no aplica.

11 CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para el cálculo del sistema a puesta a tierra siguen los siguientes lineamientos estipulados en la norma LAR400 de ENEL-CODENSA:

- "*En los transformadores de distribución se deben conectar entre sí el neutro y la carcasa, mediante alambre de cobre o cobrizado (copperweld) No 4 AWG y desde allí hasta la varilla de puesta a tierra. Se realiza una sola bajante para puesta a tierra de los pararrayos y del transformador*"
- "*Para disminuir el vandalismo se usan postes de concreto con la puesta a tierra inmersa en el concreto. Se deben empalmar los cables en las cajas de paso (referencia 5800) dispuesta con los conectores adecuados, a fin de prolongar el conductor al neutro y a la varilla de puesta a tierra*" (Figura 4).

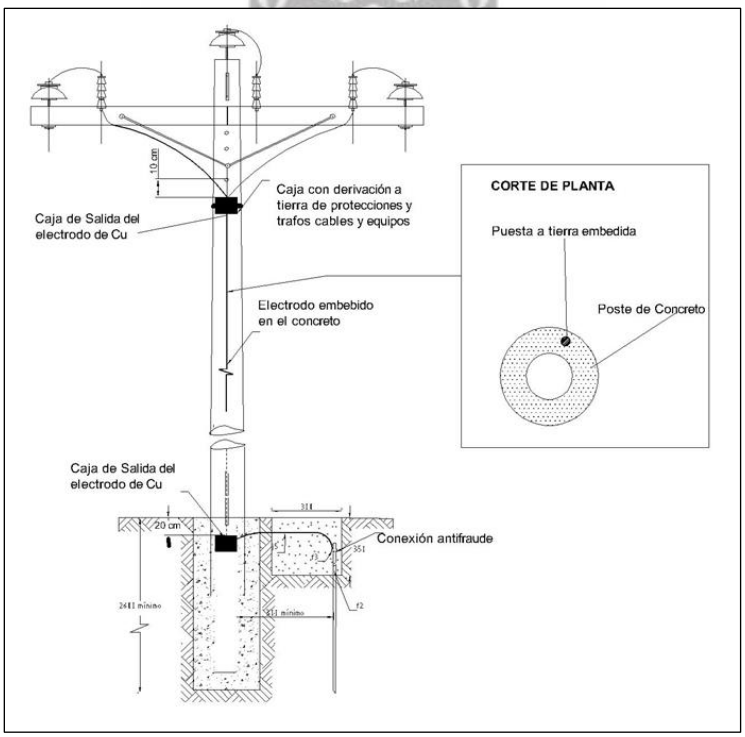

Figura 4 - Accesorios para puesta a tierra inmersa instalación poste de concreto

Fuente – Norma técnica LA408

- "*Como alternativa para el conductor del electrodo de puesta a tierra se usa el fleje de acero conectado al neutro o punto de tierra de equipos y en el otro extremo a la varilla de tierra*."

12 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES A UTILIZAR EN MEDIA TENSIÓN Y BAJA TENSIÓN

Considerando que en la norma SC204 de ENEL-CODENSA, establece que: "*el cable de cobre aplica solo para redes existentes donde se requiera reponer la infraestructura existente donde el ducto no permita el uso de cable de Aluminio*", se seleccionan los conductores de aluminio (Al) para los ramales de la red de distribución a subterranizar..

De la tabla 4 se toman las constantes de regulación de sistemas trifásicos para un conductor No 2/0 AWG.

enel codensa			CONSTANTES DE REGULACIÓN						
APLIC	CALIBRE [AWG o Kcmil]	R Equiv [Ω / Km]	XL [Ω/Km]	K [%/kVA-m]	In, Subt. [A]	Tensión de servicio [V]	Material	Sistema	Conductor
Red de B.T subterránea enterramiento directo para A.P en sitios de alto índice de hurto	500	0,12777	0,11048	3,77095E-04	310	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	400	0,15971	0,11260	4,45679E-04	270	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	350	0,18252	0,11396	4,94504E-04	250	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	250	0,25552	0,11768	6,50111E-04	205	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	4/0	0,30190	0,11481	7,43698E-04	180	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	2/0	0,48005	0,12003	1,11955E-03	135	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	1/0	0,60527	0,12295	1,38298E-03	120	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	2	0,96252	0,12500	2,12823E-03	90	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	4	1,53048	0,13141	3,31618E-03	65	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	6	2,43381	0,13872	5,20269E-03	50	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	
	8	3,86873	0,14710	8,19613E-03	40	208/120	ALUMINIO	3ϕ, 4 hilos	

Tabla 5. Características de los conductores de aluminio para la red subterranea.

Fuente – Normas ENEL-CODENSA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

13 SELECCIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES MT_BT

De la especificación técnica 505 - *Fusibles para transformadores de distribución tipo dual* de ENEL-CODENSA, se selecciona el fusible para el portafusibles de expulsión de cortocircuitos (cutoff) en aire de desenganche automático para protección del transformadores de 11,4 y 13,2 kV.

Para el transformador trifásico CD:20430 de 75 kVA se selecciona un fusible dual con código 170822 (Tabla 5), una corriente nominal permanente de 2.1 A y un color rojo en la shakira (Tabla 6).

Símbolo	Referencia	Capacidad nominal del transformador a proteger en kVA		
		Código	Monofásico	Trifásico
			11kV - 13,2	11kV - 13,2
f_{21}	0,4	170845	5, (10 en 13,2)	15
f_{40}	0,6	170871	10 en 11,4	
f_{23}	1	170825	15	30
f_{25}	1,4	170848	30	45
f_{26}	2,1	170822		75
f_{27}	3,1	170830	45	
f_{36}	4,2	170007		112.5
f_{30}	5,2	170826		150
f_{32}	7,8	170851		225
f_{33}	10,4	170828		300

Tabla 6 - Valores de capacidad nominal del transformador a proteger en kVA

Fuente – ET 505

Corriente Nominal Permanente (A)	Código	Color	Descripción
0,4	170845		naranja
0,6	170871		Verde Claro
1	170825		Negro
1,4	170848		Verde Oscuro
2,1	170822		Rojo
3,1	170830		blanco
4,2	170007		Azul Celeste
5,2	170826		Azul oscuro
7,8	170851		Amarillo
10,4	170828		marrón

Tabla 7 - Colores de la Shakira según el nivel de corriente

Fuente – ET 505

Para lo usuario en baja tensión se calcula una carga aproximada para la acometida de 3.5 kVA, se obtiene el siguiente cálculo de la corriente nominal:

$$I_n = \frac{P}{V} = \frac{3.5\ kVA}{120V} = 29.16A$$

$$I = I_n * 1.25 = 36.45A$$

Por lo tanto, se selecciona una protección de 1x40A

14 CÁLCULO ECONÓMICO DE LOS CONDUCTORES

Dimensionamiento Económico y Ambiental de Conductores

Datos Generales sobre la instalación

Fecha : 21-01-2022

Proyecto : CD20430

Descripción : Traslado de transformador de 75kVA CD20430

Precio de energía activa : Col$ 600

Aumento anual de costo de energía, sin incluir efectos de inflación : 3 %

Precio de la variación anual de la demanda : Col$ 0 / W·ano

Tasa de capitalización : 19 %

Vida económica de la instalación : 20 Años

Emisiones de CO2 en el momento de la generación por unidad de energía eléctrica : 0,149 kg-CO2/kWh

Emisiones de CO2 en el momento de la producción del cobre por kilo de cobre : 4,09 kg-CO2/kg-Cu

ALCALDIA MAYOR

Circuitos

Descripción : RAMAL 1

Tensión nominal : 208 V

Tipo de circuito : Fase-fase-fase-neutro

Tipo de cable : 0,6/1 kV – unipolar

Sección técnica : 2/0 AWG/kCmil

Longitud : 58 m

Corriente de proyecto máxima prevista para el primer año : 50 A

Tasa de aumento anual de carga : 1 %

Temperatura máxima nominal para el tipo de cable considerado : 70 °C

Temperatura ambiente média : 21 °C

Número de horas de operación de circuito : 24

Número de dias por año de operación de circuito : 365

Costo del cable : Col$ 500,62 / m·mm2

Descripción : RAMAL 2
Tensión nominal : 208 V
Tipo de circuito : Fase-fase-fase-neutro
Tipo de cable : 0,6/1 kV – unipolar
Sección técnica : 2/0 AWG/kCmil
Longitud : 63 m
Corriente de proyecto máxima prevista para el primer año : 50 A
Tasa de aumento anual de carga : 1 %
Temperatura máxima nominal para el tipo de cable considerado : 70 °C
Temperatura ambiente média : 21 °C
Número de horas de operación de circuito : 24
Número de dias por año de operación de circuito : 365
Costo del cable : Col$ 500,62 / m·mm2

Cálculo

	Sección Técnica (STEC)				Sección Económica y Ambiental (SEAC)							
Circuito	Sección nominal (AWG/ kCmil)	CI ($)	CJ ($)	CT ($)	Sección nominal (AWG/ kCmil)	CI ($)	CJ ($)	CT ($)	Ahorro de inversión ($)	Tiempo de retorno de inversión (años)	Ahorro de energía (kWh)	Ganancia ambiental (reducción de CO2) (kg -CO2)
RAMAL 1	2/0	11.576.800	6.104.600	17.681.400	2/0	11.576.800	6.104.600	17.681.400	0	0	0	0
RAMAL 2	2/0	12.574.800	6.630.859	19.205.659	2/0	12.574.800	6.630.859	19.205.659	0	0	0	0
		24.151.600	**12.735.459**	**36.887.059**		**24.151.600**	**12.735.459**	**36.887.059**	**0**	**0**	**0**	**0**

Tabla 8 – Calculo económico de conductores.

Fuente – Sofware Procobre

15 CALCULO DE CANALIZACIONES

En vista que se plantean segmentos subterráneos de red de baja tensión, se selecciona las cámaras CS-275 y CS-276 (Figura 2).

Para la selección de la bajante nos dirigimos a la norma CS-204 donde nos indica que la bajante corresponde a un ducto IMC de 2”.

AWG o kcmil Cu	Cu (mm²)	Al (mm²)	Redes - Circuitos	Ducto para canalizaciones	Ducto metálico para subterranización o afloramiento
2/0-4/0-300 (**)	70-120- 150 (**)	240	De 34,5 kV	6"	6"
2-2/0-4/0-300 (**)	35-70-120 150 (**)	95 - 185 -240	11,4kV y 13,2 kV	6"	6"
		25 – 50 – 95 - 150 - 240	De BT: 208/120 V	4" (*)	4", 3", 2" (*)
		16 – 25 - 35	De AP: 208/120 V; 480/277 V; 380/220 V	3"	3", 2" (*)

Tabla 9 - Selección del diámetro de ducto.

Fuente – Norma CS-204

Respecto a las canalizaciones entre cámaras, la norma CS275 y CS276 indica que el ducto PVC para la subterranización de las acometidas es de 4" tipo EB, por recomendación del operador de red ENEL-CODENSA se incluye la norma CS212 banco de ductos donde se diseña la red de baja tensión con 6Φ6".

Tomando las dimensiones del tubo (Tabla 8) y del conductor seleccionado, se calcula el porcentaje de ocupación mostrado en la tabla 9. En esta se verifica que dicho porcentaje cumple con lo estipulado en la Tabla 1 del capitulo 9 de la NTC 2050 (<40% para más de dos conductores).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tamaño comercial		Tubo conduit de PVC Tipo EB				
pulgadas	mm	Diámetro interior, mm.	Sección total 100%, mm²	Dos hilos 31% mm²	Más de dos hilos 40% mm²	Un hilo 53% mm²
½	16	-----	-----	-----	-----	-----
¾	21	-----	-----	-----	-----	-----
1	27	-----	-----	-----	-----	-----
1 ¼	35	-----	-----	-----	-----	-----
1 ½	41	-----	-----	-----	-----	-----
2	53	56,41	2499,35	774,84	1000,0	1324,51
2 ½	63	-----	-----	-----	-----	-----
3	78	84,84	5618,7	1741,93	2247,74	2978,1
3 ½	91	96,62	7332,24	2272,9	2932,89	3886,44
4	104	108,94	9321,27	2889,67	3728,38	4940,0
5	129	135,03	14319,33	4439,35	5727,73	7589,66
6	155	160,93	20341,9	6305,79	8136,76	10781,27

Tabla 10 - Características geométricas del tubo conduit PVC tipo EB.

Fuente –NTC 2050

Ocupacion de ductos

Cable Monopolar

N°	Calibre	Aislante	Cantidad	Diametro* mm	Area por cable mm2	Total Grupo mm2
1	2/0	CABLE MONOPOLAR 75 (PVC-PVC) 600 V	4	16,94	225,38	901,52
2	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
3	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
4	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
5	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			

Area Total **901,52** **mm2**

Tipo de Ducto: Tubo de PVC, Tipo EB

Diametro: 6 Pulgadas

Diámetro mínimo recomendado
2 1/2 "

Diametro** 160,9 mm
Area Total **20333,02 mm2**

Max. Ocupacion **40,00%** **Ocupación** **4,43%**

Tabla 11 - Cálculos del porcentaje de ocupación del tubo seleccionado red BT.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Por último, el ducto entre cámaras se debe enterrar a una profundidad de 0.6m como lo indica la tabla 25.1 del RETIE.

Tensión Fase- Fase (V)	Profundidad Ducto (m)	Profundidad conductor enterramiento directo (m)
Alumbrado Público	0,50	0,50
0 a 600	0,60	0,60
601 a 34500	0,75	0,95
34501 a 57500	1,00	1,20

Tabla 12 - Profundidades mínimas de enterramiento de redes eléctricas subterráneas.

Fuente – RETIE

Ocupacion de ductos

Cable Monopolar

N°	Calibre	Aislante	Cantidad	Diametro* mm	Area por cable mm2	Total Grupo mm2
1	8	THW 600 V	2	5,99	28,18	56,36
2	10	THW 600 V	1	4,47	15,69	15,69
3	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
4	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			
5	12	TTU 90 (XLPE-PVC) 600 V	0			

Area Total **72,05** **mm2**

Tipo de Ducto: Tubo Metalico Intermedio IMC

Diametro: 3/4 Pulgadas

Diámetro mínimo recomendado **1 "**

Diametro** 21,9 mm

Area Total **376,68 mm2**

Max. Ocupacion **40,00%** **Ocupación** **19,13%**

Tabla 13. Cálculos del porcentaje de ocupación del tubo seleccionado acometida.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

16 CALCULOS PERDIDAS DE ENERGIA

En la circulación de corriente se genera una perdida de potencia eléctrica en los conductores, el cual se expresa porcentualmente como

$$\%Pérdidas = \frac{3 * i * R * l * (0.7 * F_c + 0.3)}{4 * V_{Ln} * FP * NCF} * 100$$

Siendo F_c el factor de carga, *FP* el factor de potencia considerado y *NCF* el número de conductores por fase.

El factor de carga esta dado por la relación:

$$F_c = \frac{Potencia\ promedio\ (kVA)}{Potencia\ máxima\ (kVA)}$$

En la tabla 12 y 13 se presentan los cálculos del porcentaje de pérdidas.

Tramo	**Tipo de red**	**Carga** (kVA)	**Distancia** (km)	**Corriente** (A)	**Calibre Conductor** AWG	**R** (Ω/km)	**F*c***	**Pérdidas** (%)
P01 - P03	3ϕ	18	0,058	20,833333	2/0 Al	0,43448	0,12	0,14

Tabla 14 - Cálculos del porcentaje de perdidas del ramal 1.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

Tramo	**Tipo de red**	**Carga** (kVA)	**Distancia** (km)	**Corriente** (A)	**Calibre Conductor** AWG	**R** (Ω/km)	**F*c***	**Pérdidas** (%)
P01 - P05	3ϕ	18	0,063	20,833333	2/0 Al	0,43448	0,12	0,15

Tabla 15 - Cálculos del porcentaje de perdidas del ramal 2.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Se verifica que cada cálculo del porcentaje de pérdidas presentado en las tablas 12 y 13 están por debajo del 1.38%, por lo tanto, el conductor seleccionado operaria dentro de los límites exigidos por la GREG.

17 CALCULOS DE REGULACION DE TENSION

Con las características del conductor seleccionado en el ítem 12, se desarrollan los cálculos de regulación para los ramales 1 y 2 mostrados en las siguientes tablas:

Tramo	**Tipo de red**	**Carga** (kVA)	**Distancia** (m)	**Corriente** (A)	**Momento eléctrico** (kVA-m)	**Calibre Conductor** AWG	**K** (%/kVA-m)	**Regulación** (%)
P01 - P03	3ϕ	18	58	78,125	1044	2/0 Al	9,98050E-04	1,04196

Tabla 16 - Cálculos del porcentaje de regulación de tensión Ramal 1.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

Tramo	Tipo de red	Carga (kVA)	Distancia (m)	Corriente (A)	Momento eléctrico (kVA-m)	Calibre Conductor AWG	K (%/kVA-m)	Regulación (%)
P01 - P05	3ϕ	18	63	78,125	1134	2/0 Al	9,98050E-04	1,13179

Tabla 17 - Cálculos del porcentaje de regulación de tensión Ramal 2.

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

Se verifica que cada cálculo del porcentaje de regulación presentado en las tablas 13 y 14 está por debajo del 3%, por consiguiente, el conductor seleccionado para cada ramal, operaría dentro de los límites estipulados por la norma CODENSA *7.1.6 – Regulación de Tensión.*

18 CALCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECIÓN DE EQUIPOS

La estructura y elementos de sujeción necesarios para realizar el traslado del transformado CD:20430, están descritos en la norma CTU 501 *Montaje en poste de transformador trifásico Circuito primario tangencial y red trenzada de BT* (Figura 5).

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

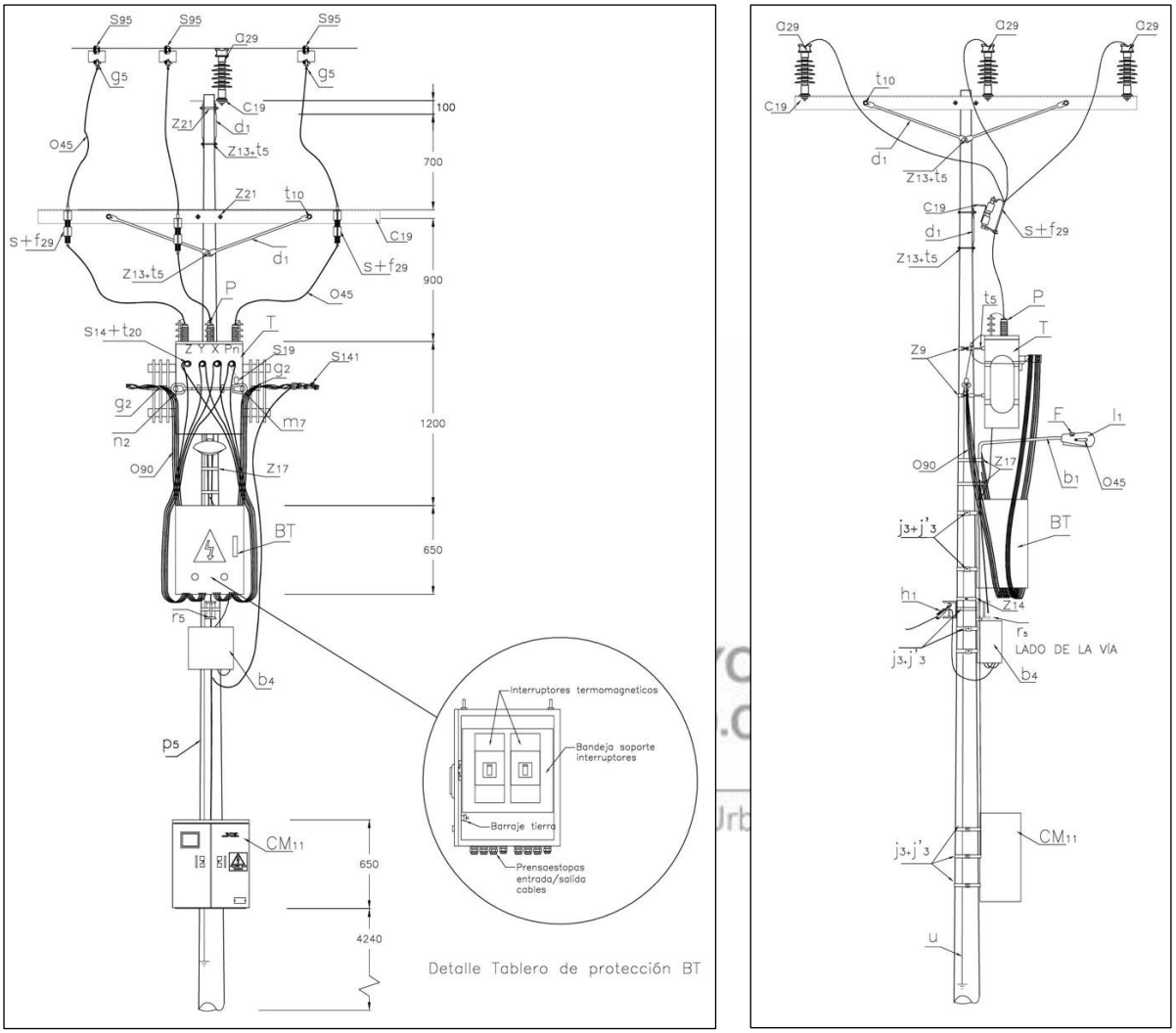

Figura 5- Montaje en poste de transformador trifásico *(a)* vista frontal y *(b)* vista en perfil.

Fuente – Norma técnica CTU 501

SÍMB.	CANT.	DESCRIPCIÓN
a_{29}	3	Aislador Line Post Compuesto Cruceta Metálica 24kV (1)
b_1	1	Soporte para luminaria horizontal Ø 3/4"x2m en vías secundarias
b_4	1	Caja para derivación de acometidas.
BT	1	Tablero de protección de baja tensión para montaje en poste (2)
c_{19}	2	Cruceta metálica 2,5 m
CM_{11}	1	Caja para medición inteligente (3)
d_1	4	Diagonal metálica en varilla tipo 1
F	1	Fotocontrol 1000 W / 1800 VA 205 / 305 V, tipo NC
f_{29}	3	Fusible dual (4)
g_2	2	Grapa retención aislada para red trenzada de B.T.
g_5	3	Grapa para operar en caliente
h_1	4	Tensor de acometidas
j'_3	5	Hebilla de acero inoxidable 5/8"
j_3	3	Metros de cinta de acero inoxidable 5/8"x0,03"
l_1	1	Luminaria horizontal de sodio 70 W para vías secundarias (5)
m_7	1	Tuerca de ojo alargado 5/8"
n_2	1	Perno de ojo tipo 2 (5/8" x 254 mm)
o_{45}	12	Metros de cable desnudo de cobre calibre 4 AWG
o_{90}	6	Metros de cable GSCC009/012 Neutro Auto soportado Al 3x95+54,6 mm^2
P	3	DPS 12 kV 10 kA
p_5	1	Poste de concreto de 12 m 750 kg (6)
r_5	2	Percha porta aislador de un puesto
S	3	Cortacircuito de cañuela 100 A 15 kV
s_{14}	8	Conector terminal de compresión tipo pala 2 huecos, 4/0 AWG (7)
s_{19}	2	Conector de compresión en ranuras paralelas tipo 3 (8)
s_{95}	3	Conector cuña con estribo 4/0 – 2 AWG (9)
s_{141}	4	Conector de tornillo con chaqueta aislante, tipo 2 (10)
T	1	Transformador de distribución hasta 150 kVA y peso menor a 700 kg, 11400V- 208 / 120 V
t_5	8	Tornillo de carruaje 5/8" x 1 ½"
t_{10}	4	Tornillo de acero galvanizado 5/8" x 5"
t_{20}	8	Tornillo de bronce para borna terminal
u	1	Sistema de puesta a tierra en acero
z_9	2	Abrazadera de una salida tipo 4, 180 mm (11)
z_{13}	2	Abrazadera de dos salidas tipo 3, 180 mm (12)
z_{14}	2	Abrazadera de dos salidas tipo 4, 200 mm (12)
z_{17}	2	Abrazadera de 180 mm para soporte de luminaria en vías secundarias
z_{21}	2	Abrazadera en U tipo 3, 210 mm (13)

Tabla 18 - Descripción de elementos de la estructura Montaje en poste de transformador trifásico

Fuente – Norma técnica CTU 501

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

19 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE FASE Y TIERRA BAJO LOS PARÁMETROS DE LA NORMA IEEE STD 242 DE 2001 O IEC 60909 DE 2001

No aplica debido a que el presente proyecto consiste en el traslado del transformador al poste más cercano y no se alterará la configuración actual de la red. Sin embargo, en el ítem 13 nos regimos a la especificación técnica 505 - *Fusibles para transformadores de distribución tipo dual* de ENEL-CODENSA, con el fin de seleccionar el fusible de expulsión de cortocircuitos (cutoff) en aire de desenganche automático para la protección del transformador.

20 CLASIFICACION DE AREAS

La clasificación de áreas debe hacerse de acuerdo a la metodología de IEC (Zonas) o la de NFPA (Clases, Divisiones), y tener en cuenta lo referente a grupos y códigos de temperatura, así: Según IEC la clasificación se basa en zonas, así:

- La Zona 0 abarca áreas, en las cuales exista la presencia de una atmósfera de gas explosivo de manera permanente o por períodos prolongados.
- La Zona 1 abarca áreas, en las cuales se puede esperar que exista la presencia de una atmósfera de gas explosivo de manera ocasional o poco frecuente.
- La Zona 2 abarca áreas, en las cuales sólo puede esperarse la presencia de una atmósfera de gas explosivo de manera muy poco frecuente de atmósfera explosiva constituida por una mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o y si ella se genera, existirá por períodos breves únicamente.

IEC también tiene especificadas zonas para lugares de asistencia médica, zonas para polvos combustibles y fibras inflamables y una clasificación independiente para la minería subterránea.

Por lo anterior, se deduce que este proyecto no está clasificado dentro de las zonas mencionadas.

21 CALCULO DE BARRAJES (SECCION mm^2)

De acuerdo a la especificación técnica *722 - Barrajes preformados para baja tensión 600 V*.
el barraje adecuado para cable No 2/0 es el del código 6762357.

COD.SAP	Material
6762357	Barraje prefomado calibres 10 a 2/0 AWG, 6 salidas, 600 V.
6762260	Barraje prefomado calibres 10 a 350 kcmil, 6 salidas, 600 V.
	Barraje prefomado calibres 10 a 500 kcmil, 6 salidas, 600 V.

Tabla 19 - Barrajes para circuitos subterráneos BT

Fuente – ET 722

22 CALCULO Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA

Teniendo en cuenta que todos los usuarios son existentes y no se pondrán cargas adicionales, no es necesario verificar las características de los medidores debido que estos están actualmente matriculados y en funcionamiento.

23 CONCLUSIONES

- Se elaboraron las memorias de cálculo para trasladar el transformador CD:20430, cumpliendo con todos los ítems requeridos para un proyecto serie 5 indicados en la Guía presentación de proyectos de conexión con convenio ENEL-CODENSA.

- Se presentaron cada uno de los cálculos exigidos en la Guía proyecto serie 5, siguiendo los lineamientos estipulados por la NTC 2050, normas ENEL-CODENSA, el RETIE y la CREG.

- Se presentaron detalladamente los modelos matemáticos usados para realizar los cálculos de regulación de tensión y pérdidas de energía, para los conductores de distribución de baja tensión.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano