

## APENDICE D. Memorias de cálculo.

MEMORIAS DE CÁLCULO  
ESTACION DE CARGA

DISEÑO:

Edison Antonio Daza Alba

Oscar Camilo Romero Parra

Enero de 2025

## Contenido

<b>SINTESIS DEL PROYECTO</b> .....	5
a) ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS. 5	
Factores de riesgo más comunes .....	5
Matriz de riesgos .....	7
b) ANÁLISIS DE RIESGOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS) Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN. ....	10
c) ANÁLISIS Y CÁLCULO DE CARGAS INICIALES Y FUTURAS, INCLUYENDO FACTOR DE POTENCIA Y ARMÓNICOS. ....	11
Análisis Del Factor De Potencia .....	11
Análisis De Armónicos .....	11
d) COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO. ....	11
e) ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO, ARCO ELÉCTRICO Y FALLA A TIERRA. ....	11
f) ANÁLISIS DEL NIVEL TENSIÓN REQUERIDO.....	12
g) CÁLCULOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	12
h) CÁLCULO DE TRANSFORMADORES INCLUYENDO EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN LA CARGA.....	12
i) SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	13
j) CÁLCULO ECONÓMICO DE CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA TODOS LOS FACTORES DE PÉRDIDAS, LAS CARGAS RESULTANTES Y LOS COSTOS DE LA ENERGÍA.....	18
k) ESPECIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA EL TIEMPO DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES, LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE LA RED Y LA CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CONDUCTOR, DE ACUERDO CON LA NORMA IEC 60909 U OTRA EQUIVALENTE.....	19
l) CÁLCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECCIÓN Y SOPORTE DE REDES DE TRANSMISIÓN, DE DISTRIBUCIÓN, SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN. ....	19
m) CÁLCULO Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES. EN BAJA TENSIÓN SE PERMITE LA COORDINACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LIMITACIÓN DE CORRIENTE DE LOS DISPOSITIVOS SEGÚN IEC 60947-2 ANEXO A. ....	19
n) CÁLCULOS DE CANALIZACIONES (TUBOS, DUCTOS, CANALES Y ELECTRODUCTOS), BANDEJAS PORTACABLES Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS (CAJAS, CONDULETAS, ARMARIOS, ETC.).....	19
o) CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA. ....	20

p)	CÁLCULOS DE REGULACIÓN DE TENSIÓN. ....	20
q)	ÁREAS CLASIFICADAS COMO PELIGROSAS. ....	20
r)	DIAGRAMAS UNIFILARES. ....	21
s)	PLANOS ELÉCTRICOS PARA CONSTRUCCIÓN. ....	22
t)	ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN COMPLEMENTARIAS A LOS PLANOS, INCLUYENDO LAS DE TIPO TÉCNICO DE EQUIPOS Y MATERIALES Y SUS CONDICIONES PARTICULARES. ....	22
u)	DISTANCIAS DE SEGURIDAD O SERVIDUMBRE REQUERIDAS. ....	22
v)	JUSTIFICACIÓN DE DESVIACIONES TÉCNICAS CUANDO SEA ESTRICTAMENTE NECESARIAS, SIEMPRE Y CUANDO NO COMPROMETA LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS O DE LA INSTALACIÓN. ....	22
w)	LOS DEMÁS ESTUDIOS QUE EL TIPO DE INSTALACIÓN REQUIERA PARA SU CORRECTA Y SEGURA OPERACIÓN, TALES COMO CONDICIONES SÍSMICAS, ACÚSTICAS, MECÁNICAS O TÉRMICAS. ....	22
x)	SELECCIÓN, CÁLCULO Y ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES. ....	22

## SINTESIS DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la realización de diseño básico de la instalación de una estación de carga ubicada en la ciudad de Bucaramanga.

El diseño y ejecución de la Instalación Eléctrica se debe realizar de acuerdo con la normatividad vigente: NTC 2050 segunda edición, Código Eléctrico Colombiano, Reglamento Técnico de instalaciones eléctricas RETIE, Normas de Diseño ESSA y demás normatividad aplicable.

Con el fin de evaluar el nivel de riesgo de tipo eléctrico al que van a estar expuestos los profesionales y demás personas asociadas al lugar donde se haga uso de la electricidad se debe establecer una matriz de análisis de riesgos para el control y la toma de decisiones que minimizan el riesgo.


Establecer distancias de seguridad y uso de elementos de protección personal para el personal como ropa de algodón, guantes, casco, botas dieléctricas y gafas de seguridad.




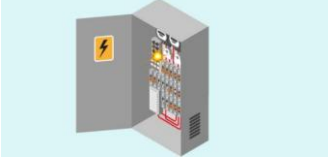



<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	Ingeniería Básica de Estación de Carga Analizando la Normativa y Proponiendo Nuevas Tecnologías Impulsadas en el Mercado		
<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	
	7.102251	-73.107120	
<b>TIPO DE MEDICIÓN</b>	INDIRECTA		
<b>CAPACIDAD INSTALADA: 600 kVA</b>			


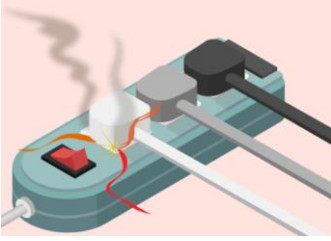



### a) ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS.

Para llevar a cabo este análisis se tiene en cuenta el artículo 9° de RETIE 3 es establecer las condiciones mínimas de seguridad de los trabajadores, frente al riesgo eléctrico en los sitios de trabajo.

#### Factores de riesgo más comunes

	<p style="text-align: center;"><b>ARCOS ELÉCTRICOS.</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores con carga, apertura de transformadores de corriente, apertura de transformadores de potencia con carga sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar prendas acordes con el riesgo y gafas de protección contra rayos ultravioleta.</p>
---	--

	<p style="text-align: center;"><b>AUSENCIA DE ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Apagón o corte del servicio, no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia - UPS, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia. Por ejemplo: Lugares donde se exijan plantas de emergencia como hospitales y aeropuertos.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>CONTACTO DIRECTO</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos, violación de las distancias mínimas de seguridad.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>CONTACTO INDIRECTO</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>CORTOCIRCUITO</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>ELECTRICIDAD ESTÁTICA</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>EQUIPO DEFECTUOSO</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>RAYOS</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.</p>

	<p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados. Además suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>SOBRECARGA</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos, no controlar el factor de potencia.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Uso de Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>TENSIÓN DE CONTACTO</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>TENSIÓN DE PASO</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla,</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS</b></p> <p><b>POSIBLES CAUSAS:</b> Falla en el diseño, violación de anchos de zonas de servidumbre, mediciones con equipo no calibrado.</p> <p><b>MEDIDAS DE PROTECCIÓN:</b> Respetar los anchos de zonas de servidumbre y los valores de límites de exposición a campos electromagnéticos.</p>

### Matriz de riesgos

Con el fin de evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, se puede aplicar la siguiente matriz para la toma de decisiones. La metodología a seguir en un caso en particular, es la siguiente:

- a. Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- b. Definir si el riesgo es potencial o real.

- c. Determinar las consecuencias en las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa.
- d. Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (a, b, c, d, e): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
- e. Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- f. Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- g. Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la Tabla 9.4 del RETIE

MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS										
RIESGO A EVALUAR		Electrocución		por	Cortocircuito		(al) o (en)	Puntos energizados		
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO			FUENTE		
POTENCIAL		REAL				PROBABILIDAD				
						A	B	C	D	E
	Personas	Económica	Ambiental	Imagen de la Empresa		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
CONSECUENCIAS	Una o más fatalidades	Daño Grave infraestructura a. Interrupción regional	Contaminación Irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad permanente (parcial o total)	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	<del>BAJO</del>	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción Leve.	Efecto Menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños Leves. No hay interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
<b>ACTIVIDAD QUE SE VA A REALIZAR:</b>			En el desarrollo de la instalación eléctrica de baja tensión se puede presentar electrocución ocasionadas por cortocircuito en lugares energizados.							
<b>EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO</b>	<b>BAJO</b>	<b>DESICIONES A TOMAR Y CONTROL</b>				<b>PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS</b>				
		Vigilar posibles cambios. Utilizar guantes y gafas de protección ultravioleta; además de ropa de dotación hecha a base de algodón. Efectuar mantenimiento a los equipos utilizados.				No afecta la secuencia de las actividades				

MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS										
RIESGO A EVALUAR		Contacto indirecto		por	Equipo defectuoso		(al) o (en)	Puntos energizados		
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO			FUENTE		
POTENCIAL		REAL			PROBABILIDAD					
					A	B	C	D	E	
C O N S E C U E N C I A S	Personas	Económica	Ambiental	Imagen de la Empresa		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o más fatalidades	Daño Grave infraestructura a. Interrupción regional	Contaminación Irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad permanente (parcial ototal)	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	<del>MEDIO</del>	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción Leve.	Efecto Menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños Leves. No hay interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
<b>ACTIVIDAD QUE SE VA A REALIZAR:</b>			En el desarrollo de la instalación eléctrica de baja tensión se puede presentar contacto indirecto ocasionadas por equipos defectuosos utilizados en el desarrollo laboral.							
<b>EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO</b>	<b>BAJO</b>	<b>DESICIONES A TOMAR Y CONTROL</b>				<b>PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS</b>				
		Vigilar posibles cambios. Utilizar guantes y gafas de protección ultravioleta; además de ropa de dotación hecha a base de algodón. Efectuar mantenimiento a los equipos utilizados.				No afecta la secuencia de las actividades				

MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS										
RIESGO A EVALUAR		Quemaduras		por	Cortocircuito		(al) o (en)	Puntos energizados		
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO			FUENTE		
POTENCIAL		REAL			PROBABILIDAD					
					A	B	C	D	E	
C O N S E C	Personas	Económica	Ambiental	Imagen de la Empresa		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o más fatalidades	Daño Grave infraestructura a. Interrupción regional	Contaminación Irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad permanente (parcial ototal)	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación Mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO

U E N C I A S	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños Severos. Interrupción temporal	Contaminación Localizada	Regional	3	<del>BAJO</del>	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción Leve.	Efecto Menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños Leves. No hay interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
<b>ACTIVIDAD QUE SE VA A REALIZAR:</b>			En el desarrollo de la instalación eléctrica de baja tensión se puede presentar quemaduras ocasionadas por cortocircuito en lugares energizados.							
<b>EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO</b>	<b>BAJO</b>	<b>DESICIONES A TOMAR Y CONTROL</b>				<b>PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS</b>				
		Vigilar posibles cambios. Utilizar guantes y gafas de protección ultravioleta; además de ropa de dotación hecha a base de algodón. Efectuar mantenimiento a los equipos utilizados.				No afecta la secuencia de las actividades				

Adoptada de la Resolución 90708 del 2013

Toda persona que intervenga en el desarrollo de cualquier tipo de labor eléctrica deberá ser competente para dicho proceso y contar con la certificación que le habilite para la ejecución de dicha labor.

El trabajador deberá contar con los elementos de protección personal en el desarrollo de su trabajo.

## **b) ANÁLISIS DE RIESGOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS) Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN.**

No aplica: Se cita el alcance de las instalaciones que requieren del análisis de nivel de riesgo por rayos de acuerdo a lo que describe el RETIE en el apartado 3.13.1.1: “También deben contar con una evaluación del nivel de riesgo por rayo, las siguientes instalaciones de uso final construidas con anterioridad a la vigencia del RETIE: edificaciones de viviendas multifamiliares, edificios de oficinas, hoteles, centros de atención médica, lugares de culto, centros educativos, centros comerciales, industrias, supermercados, parques de diversión, prisiones, aeropuertos, cuarteles, salas de juzgados, salas de baile o diversión, gimnasios, restaurantes, museos, auditorios, boleras, salas de clubes, salas de conferencias, salas de exhibición, salas de velación, lugares de espera de medios de transporte masivo y en general aquellos lugares que en cualquier momento presenten alta concentración de personas, o en edificaciones con alturas que sobresalgan sobre las de su entorno y donde se tenga conocimiento de alta densidad de rayos.”. Se evidencia entonces que este proyecto no hace parte del alcance que requiera el análisis y/o diseño de una solución de apantallamiento contra rayos.

**c) ANÁLISIS Y CÁLCULO DE CARGAS INICIALES Y FUTURAS, INCLUYENDO FACTOR DE POTENCIA Y ARMÓNICOS.**

CUADRO DE CARGAS GENERAL												
CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	CARGA EN [kVA]			CARGA TOTAL	FP	I [A]	CONDUCTOR				
		A	B	C				PROTECCION	MATERIAL	FASES	NEUTRO	TIERRA
TGD400_1	Equipo de carga (unidad de potencia)	177	177	177	533.33	0.9	769.8	3 x 800	Cu	3 x 4/0	4/0	2/0
TGD400_2	Transformador baja-baja (400V/220V-127V)	5	5	5	15	0.9	21.65	3 x 30	Cu	6	6	8

**Análisis Del Factor De Potencia**

Las cargas instaladas cumplen con regulación internacional IEC 61851-1 el factor de potencia debe ser mayor a 0.95, si bien es cierto que por su principio de funcionamiento pueden alterar el factor de potencia la mayoría de estos artefactos trabajara con un factor de potencia superior a 0.c cual nos indica que podemos asumir un factor de potencia recomendado por la CREG y operador de red ESSA, que sería de 0.9 para el caso.

**Análisis De Armónicos**

Los equipos de la instalación deben garantizar el cumplimiento de estándar IEEE 519 o normativa equivalente en la construcción para así mantener la calidad de la energía.

**d) COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**e) ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO, ARCO ELÉCTRICO Y FALLA A TIERRA.**

Para el análisis de cortocircuito se tomaron los parámetros de conexión con el operador de red

a. Corriente nominal  $I_n$ , para la demanda máxima 600 kVA, esto según la capacidad de transformador.

$$I_n = \frac{600 \text{ kVA}}{13,2 \text{ kV} * \sqrt{3}} = 26,24 \text{ amperios}$$

b. Corriente de cortocircuito simétrica máxima; para este cálculo se toma como referencia la NTC 819 y una impedancia de 5,0%.

$$I_{ccmax} = \frac{100\%}{5\%} * 26,24 = 524,86 \text{ amperios}$$

c.

### **f) ANÁLISIS DEL NIVEL TENSIÓN REQUERIDO.**

Para la alimentación de la demanda del proyecto el nivel de tensión requerido según parámetros ESSA es media tensión (MT) con tensión nominal de línea de 13200 Voltios.

### **g) CÁLCULOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.**

Según el RETIE Título 11, CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS se ha mostrado que los campos electromagnéticos de baja frecuencia (0 a 300 Hz) no producen efectos nocivos en los seres vivos. No se requiere realizar el cálculo de campos electromagnéticos debido a que no hay presencia de líneas de transmisión de tensión mayor o igual a 110kV, ni subestación con corrientes superiores a 1000 A.

### **h) CÁLCULO DE TRANSFORMADORES INCLUYENDO EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN LA CARGA.**

El proyecto se conectará a tipo de conexión de medida nivel 2, se debe utilizar un transformador de media tensión con las siguientes características:

TRANSFORMADOR		
DEMANDA [kW]	494	
Factor de Potencia de diseño	0,9	
Potencia [kVA]	548	
Potencia de transformador [kVA]	600	
Relación de transformación	13.2[kV]/400/231 [V]	
Tipo de conexión	Dyn5	
Frecuencia de operación	60 Hz	
TRANSFORMADOR TIPO SECO CLASE H		
Uz	5%	
Voltajes [V]	13.200	400
Corriente nominal [A]	26,24	791,45
Corriente de cortocircuito [A]	524,86	15829,02

Las características del transformador fueron tomadas según norma NTC 819, Para el proyecto se utilizará un transformador para alimentación de servicios generales con las siguientes características:

TRANSFORMADOR		
DEMANDA [kW]	13,500	
Factor de Potencia de diseño	0,9	
Potencia [kVA]	15	
Potencia de transformador [kVA]	20	
Relación de transformación	400[V]/120/208 [V]	
Tipo de conexión	Dyn5	
Frecuencia de operación	60 Hz	
TRANSFORMADOR TIPO SECO CLASE H		
Uz	3%	
Voltajes [V]	400	208
Corriente nominal [A]	28,87	41,64
Corriente de cortocircuito [A]	962,25	1387,86

### i) SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Se utilizan para los cálculos las ecuaciones de la estándar IEEE-80.

#### Selección del Conductor

De acuerdo con el RETIE y la tabla 250-94 de la norma NTC-2050

$$A_{mm^2} = \frac{IK_f * \sqrt{t_c}}{1.9737}$$

En donde:

$A_{mm^2}$  = es la sección del conductor en  $mm^2$

I es la corriente de falla a tierra, suministrada por el OR (rms en KA)

$K_f$  es la constante de la tabla 25, para diferentes materiales y varios valores de  $T_m$

$T_m$  es la temperatura de fusión o el límite de temperatura del conductor y una temperatura ambiente de 40 °C

$t_c$  es el tiempo de despeje de la falla a tierra

$$A_{mm^2} = \frac{524.86 * 11.78 * \sqrt{0.15}}{1.9737 * 1000} = 67.44 \text{ mm}^2$$

Se escoge cable cobre N°:

Ac ( $mm^2$ )	67.44	Sección transversal del conductor
d (m)	0.01	Diámetro conductor

### Tensiones de paso y contacto máximas tolerables

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0.09}$$

En donde:

$C_s$  = Factor de Relación (Adimensional)

$\rho$  = Resistividad aparente del terreno Ohm/m

$\rho_s$  = Resistividad superficial del terreno Ohm/m para concreto de 3000 psi.

$h_s$  = Espesor de capa superficial (m)

$C_s$	0.82
$\rho$ Ohm/m	60
$\rho_s$ psi	3000
$h_s$ m	0.2

### Tensión de paso

$$E_{step50} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt[2]{t_s}}$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt[2]{t_s}}$$

### Tensión de contacto

$$E_{step50} = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt[2]{t_s}}$$

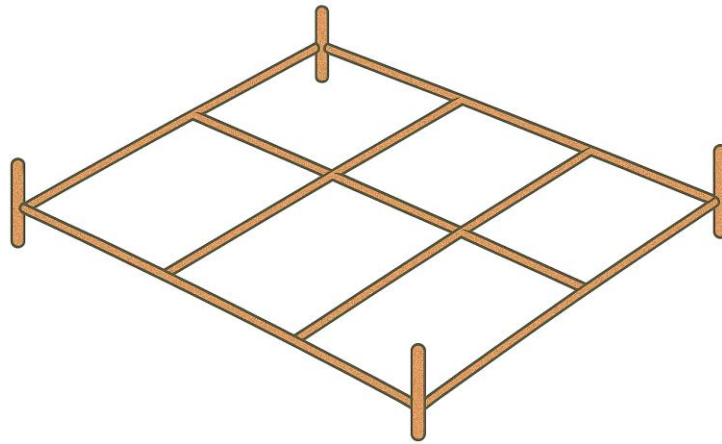
$$E_{step70} = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt[2]{t_s}}$$

V paso	4720.29 V
V contacto	1404.71 V

### Determinar configuración inicial

D	5	Lado de la cuadrícula entre conductores (m)
L1	10	Largo de la malla (m)

L2	15	Ancho de la malla (m)
h	0.3	Profundidad de enterramiento de los conductores (m)
N	12	Longitud del electrodo tipo varilla
Lv	2.4	Longitud del electrodo tipo varilla (m)



$$L_T = L_C + N * L_V$$

$$L_C = \left(\frac{L_1}{D} + 1\right) * L_2 + \left(\frac{L_2}{D} + 1\right) * L_1$$

$L_C$ m	85
$L_T$ m	113.8
Area m <sup>2</sup>	150

#### Calculo de la resistencia de puesta a tierra

$$R_g = \rho * \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20} * A} * \left( 1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 3.09 [Ohm]$$

#### Calculo máximo potencial de tierra (GPR)

$$I_G = 1.9 * I_0$$

$I_G$ A	997.234
---------	---------

$$GPR = I_G = 1.9 * I_0$$

GPR V	3076.63
-------	---------

Vcontacto [V]	3076.63
GPR [V]	1404.71
Vconstacto < GPR	

### Cálculo de tensión de malla en caso de falla

h	0.3	Profundidad de enterramiento de los conductores (m)
D	5	Lado de la cuadrícula o espaciamiento entre conductores (m)
L1	10	Largo de la malla (m)
L2	15	Ancho de la malla (m)
Conductor calibre 2/0 AWG		
Ac	67.44	Sección transversal del conductor (mm <sup>2</sup> )
d	0.01	Diámetro conductor
Kii	1	Para mallas con electrodos de varilla a lo largo del perímetro, en las esquinas o dentro de la malla.
$L_p = (L_1 + L_2) * 2$	50	Para malla cuadradas o rectangulares (m)
$n = n_a * n_b * n_c * n_d$	3.435	Factor de geometría
$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$	3.400	Constante
$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}}$	1.010	Constante
$n_c = \left(\frac{L_1 * L_2}{A}\right)^{\left(\frac{0.7 * A}{L_1 * L_2}\right)}$	1.0	Constante
$n_c = n_d = 1$	1.0	Para malla rectangular o cuadrada
$K_i = 0.644 + 0.148 * n$	1.152	Factor de corrección
$K_h = \sqrt{1 + h}$	1.140	1.140

### Factor geométrico

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right) + \frac{K_u}{K_h} * \ln \left( \frac{8}{\pi * (2 * n - 1)} \right) \right]$$

$K_m$	0.8993
-------	--------

$$V_{malla} = \frac{\rho * I_G * K_M * K_i}{L_C + \left( 1.55 + 1.22 * \left( \frac{L_v}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right) * N * L_v}$$

$V_{malla}$	461.66	
$V_{contacto\ tolerable}$	1404.71	Tolerable
$V_{malla} < V_{contacto\ tolerable}$ CUMPLE		

#### Cálculo de la tensión de paso en falla

$$K_S = \frac{1}{\pi} * \left( \frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} * (1 - 0.5^{(n-2)}) \right)$$

$K_S$	0.631
-------	-------

$$V_{Paso} = \frac{\rho * I_G * K_S * K_i}{0.75 * L_C + 0.85 * N * L_v}$$

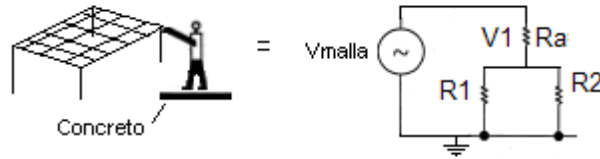
$V_{Paso}$	492.87	V
$V_{Paso\ Tolerable}$	4720.29	V
$V_{Paso} < V_{Paso\ Tolerable}$ CUMPLE		

Vemos que una vez efectuados los cálculos para la configuración de la malla de puesta a tierra propuesta esta CUMPLE, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

L1	10	Largo de la malla (m)
L2	15	Ancho de la malla (m)
h	0.3	Profundidad de enterramiento de los conductores (m)
N	12	Numero de electrodos tipo varilla
Lv	2.4	Longitud del electrodo tipo varilla (m)

#### Cálculo de la tensión de contacto aplicada a un ser humano en caso de falla

Para este cálculo tomamos como punto de contacto del ser humano cualquier parte de la malla la cual tendrá un voltaje de malla en el momento de una falla, en cualquier punto; teniendo en cuenta que la persona estará fuera de la malla y sobre una superficie de concreto, y tomando el caso más crítico que sería con las piernas separadas tenemos:



$$R_b = \left( \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad V_1 = V_{malla} * \left( \frac{R_a}{R_a + R_b} \right)$$

En donde:

V1	84	Maxima tension de contacto resultante
R1	$3 * \rho_s$	Resistencia del suelo en el punto de apoyo 1
R2	$3 * \rho_s$	Resistencia del suelo en el punto de apoyo 2
Ra	1000	Resistencia del cuerpo de el individuo
Rb	4500	Resistencia superficial de el piso debajo de el individuo
ts	0.15	Tiempo de despeje de la falla
Vmalla		Voltaje de la malla

Según RETIE la máxima tensión de contacto para un ser humano es:

$$Maxima\ tension\ de\ contacto = \frac{116}{\sqrt{t}} [V, c. a.]$$

<i>Maxima tension de contacto</i>	461.66
-----------------------------------	--------

$$V_1 < Maxima\ tension\ de\ contacto\ permisible$$

Cumple para  $t_s = 0.15$  s

**j) CÁLCULO ECONÓMICO DE CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA TODOS LOS FACTORES DE PÉRDIDAS, LAS CARGAS RESULTANTES Y LOS COSTOS DE LA ENERGÍA.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**k) ESPECIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA EL TIEMPO DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES, LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE LA RED Y LA CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CONDUCTOR, DE ACUERDO CON LA NORMA IEC 60909 U OTRA EQUIVALENTE.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**l) CÁLCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECCIÓN Y SOPORTE DE REDES DE TRANSMISIÓN, DE DISTRIBUCIÓN, SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**m) CÁLCULO Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES. EN BAJA TENSIÓN SE PERMITE LA COORDINACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LIMITACIÓN DE CORRIENTE DE LOS DISPOSITIVOS SEGÚN IEC 60947-2 ANEXO A.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**n) CÁLCULOS DE CANALIZACIONES (TUBOS, DUCTOS, CANALES Y ELECTRODUCTOS), BANDEJAS PORTACABLES Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS (CAJAS, CONDULETAS, ARMARIOS, ETC.)**

La ocupación de ductos debe ser menor al 40 % de la sección del ducto.

TRAMO		CANALIZACIÓN				TOPOLOGIA	CONDUCTOR								OCUPACIÓN	
		CANT	MATERIAL	SECCIÓN TRANSVERSAL	SECCIÓN TRANSVERSAL		FASES Y NEUTRO				TIERRA					AREA TOTAL DE OCUPACIÓN
Inicio	Fin						CALIBRE	MATERIAL	Nº CONDUCTORES POR FASE	SECCION TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR	CALIBRE	MATERIAL	Nº CONDUCTORES POR FASE	SECCION TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR	[mm²]	[%]
Punto de conexión con el operador de red	Celda de remonte		PVC DB	4	8107.32	MT	1/0	Aluminio	1	725.83	2	Aluminio	1	0	2177.50	26.86%
Celda de protección	Bornes de alta del transformador		PVC DB	4	8107.32	MT	1/0	Aluminio	1	725.83	2	Aluminio	1	0	2177.50	26.86%
Bornes de baja del transformador	Tablero general de baja tension 400 v		PVC DB	3	4560.37	BT	4/0	Cobre	4	201.06	350	Cobre	4	201.0619298	804.25	17.64%
Tablero general de baja tension 400 v	Transformador T002		PVC DB	3	4560.37	BT	6	Cobre	1	32.57	8	Cobre	1	23.58582101	121.31	2.66%
Transformador T002	Tablero de servicios generales		PVC DB	3	4560.37	BT	6	Cobre	1	32.57	8	Cobre	1	23.58582101	121.31	2.66%
Tablero general de baja tension 400 v	Celda de carga		PVC DB	3	4560.37	BT	4/0	Cobre	4	201.06	350	Cobre	4	201.0619298	804.25	17.64%

**o) CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA.**

LONGITUDES				CARACTERÍSTICA DE LA CARGA		CALIBRE, PROTECCIÓN			PÉRDIDAS DE POTENCIA [%]				
TRAMO (4)		LONG.(m) (5)			P	S (6)	PROTECCIÓN		CALIBRE (13)	PARCIAL		TOTAL	
Inicio	Fin	V	H	Total	[KW]	[KVA]	[A]	[kA]	FASE	[%]	[W]	[%]	[W]
Punto de conexión con el operador de red	Celda de remonte	25	48	73	493.5	548.33	30.00	0.03	Al 1/0	0.0107	52.84	0.0107	52.8434
Celda de protección	Bornes de alta del transformador	6	10	16	493.5	548.33	30.00	0.03	Al 1/0	0.0023	11.58	0.0131	64.4255
Bornes de baja del transformador	Tablero general de baja tension 400 v	6	10	16	493.5	548.33	800.00	0.80	4 x Cu 4/0	0.3336	1646.15	0.3466	1710.5707
Tablero general de baja tension 400 v	Transformador T002	4	6	10	13.5	15.00	60.00	0.06	Cu 6	0.1757	23.72	0.5224	70.5175
Transformador T002	Tablero de servicios generales	4	6	10	13.5	15.00	60.00	0.06	Cu 6	0.5809	78.42	1.1033	148.9420
Tablero general de baja tension 400 v	Celda de carga	6	12	18	480.0	533.33	700.00	0.70	4 x Cu 4/0	0.3650	1751.98	0.7116	3415.7548

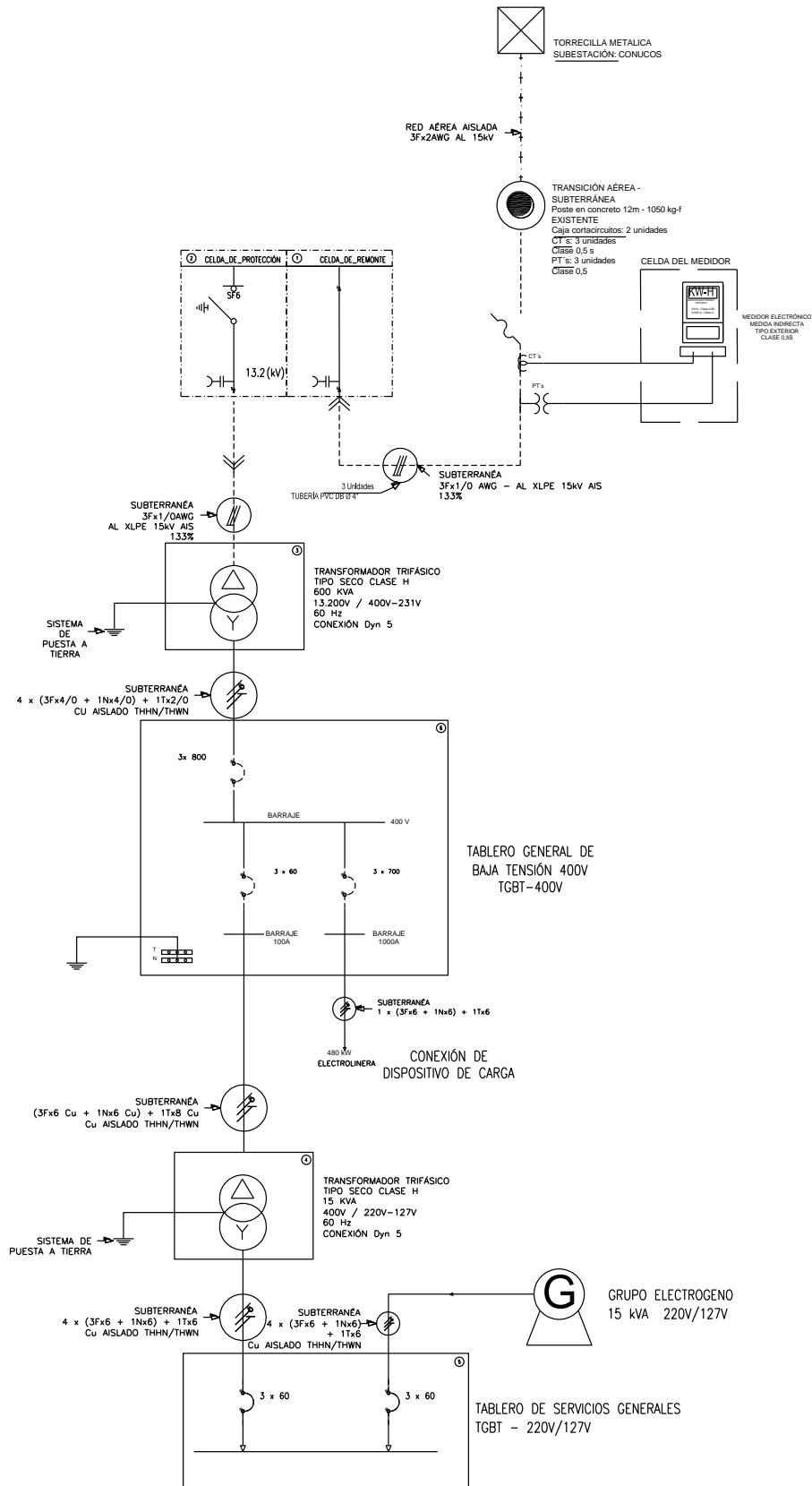
**p) CÁLCULOS DE REGULACIÓN DE TENSION.**

LONGITUDES				CARACTERÍSTICA DE LA CARGA			VALORES NOMINALES		CONDUCTOR		MOMENTO ELÉCTRICO			REGULACION [%]			
TRAMO (4)		LONG.(m) (5)			P	S (6)	CTE	CAL/CAP	RESISTENCIA	REACTANCIA	MOMENTO	KG	K	PERMITIDA		CALCULADA	
Inicio	Fin	V	H	Total	[KW]	[KVA]	[A]	INICIAL	[q*km]	[Ω*km]	[KVA*m]			TRAMO	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
Punto de conexión con el operador de red	Celda de remonte	25	48	73	493.5	548.33	23.98	Al 1/0	0.4195	0.162	40,028.09	44.82	2.57E-07	2	2	0.0103	0.0103
Celda de protección	Bornes de alta del transformador	6	10	16	493.5	548.33	23.98	Al 1/0	0.4195	0.162	8,773.28	44.82	2.57E-07	2	4	0.0023	0.0126
Bornes de baja del transformador	Tablero general de baja tension 400 v	6	10	16	493.5	548.33	791.45	Cu 4/0	0.219	0.167	8,773.28	6.75	4.22E-05	2	4	0.3700	0.3825
Tablero general de baja tension 400 v	Transformador T002	4	6	10	13.5	15.00	21.65	Cu 6	1.687	0.115	150.00	156.84	9.80E-04	3	5	0.1470	0.5296
Transformador T002	Tablero de servicios generales	4	6	10	13.5	15.00	39.36	Cu 6	1.687	0.115	150.00	156.84	3.24E-03	3	5	0.4861	1.0157
Tablero general de baja tension 400 v	Celda de carga	6	12	18	480.0	533.33	769.80	Cu 4/0	0.219	0.167	9,599.94	6.75	4.22E-05	2	4	0.4048	0.7874

**q) ÁREAS CLASIFICADAS COMO PELIGROSAS.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

## r) DIAGRAMAS UNIFILARES.



**s) PLANOS ELÉCTRICOS PARA CONSTRUCCIÓN.**

Los planos eléctricos se encuentran en el apéndice F.

**t) ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN  
COMPLEMENTARIAS A LOS PLANOS, INCLUYENDO LAS  
DE TIPO TÉCNICO DE EQUIPOS Y MATERIALES Y SUS  
CONDICIONES PARTICULARES.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**u) DISTANCIAS DE SEGURIDAD O SERVIDUMBRE  
REQUERIDAS.**

En cuanto a distancias de seguridad el proyecto se encuentra a mas de 30 m de las líneas de distribución aéreas, no esta ubicado en sitio de servidumbre y no se evidencia ningún paso de circuitos subterráneos dentro de la ubicación de la construcción.

**v) JUSTIFICACIÓN DE DESVIACIONES TÉCNICAS CUANDO  
SEA ESTRICTAMENTE NECESARIAS, SIEMPRE Y CUANDO  
NO COMPROMETA LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS O  
DE LA INSTALACIÓN.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**w) LOS DEMÁS ESTUDIOS QUE EL TIPO DE INSTALACIÓN  
REQUIERA PARA SU CORRECTA Y SEGURA OPERACIÓN,  
TALES COMO CONDICIONES SÍSMICAS, ACÚSTICAS,  
MECÁNICAS O TÉRMICAS.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado

**x) SELECCIÓN, CÁLCULO Y ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS  
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CONVENCIONALES Y NO  
CONVENCIONALES.**

No aplica para los alcances del trabajo de grado.