MEMORIAS DE CÁLCULO

DISEÑO ELÉCTRICO

PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL DE LA MERCED

Diseñador
Juan Felipe García Franco.
Ingeniero Electricista

Manizales, julio de 2026

Contenido

1. Descripción y localización general del proyecto. 4

1.1. Normatividad 4

1.2. Generalidades del proyecto 5

1.3. Descripción del proyecto. 5

2. Desarrollo del diseño detallado acorde al artículo 3.3.1.1 del RETIE 5

a) Análisis de riesgo de origen eléctrico y medidas para mitigarlos 5

b) Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección. 11

c) Análisis de cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos. 22

d) Coordinación de aislamiento eléctrico 25

e) Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra 25

f) Análisis del nivel de tensión requerido 26

g) Cálculos de campos electromagnéticos. 26

h) Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga 27

i) Sistema de puesta a tierra 27

j) Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía. 33

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. 34

l) **Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación.** 36

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. 36

n) Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.) 36

o) Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia 36

p) Cálculos de regulación 36

q) Áreas clasificadas como peligrosas. 37

r) Diagramas unifilares 37

s) Planos eléctricos para construcción 38

t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. 38

u) **Establecer Distancias de seguridad o servidumbre requeridas.** 40

v) Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación. 42

w) Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas. 42

x) Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales. 44

Referencias técnicas 45

1. Descripción y localización general del proyecto.

El proyecto contempla la adecuación de la Planta de Beneficio Animal de La Merced, la cual cuenta con 1 líneas de trabajo general para porcinos y bovinos. Además, cuanta con todas las zonas necesarias para procesar, almacenar y despachar todos los productos derivados de la línea de trabajo. El proyecto se encuentra ubicado en La Merced, Caldas.



Figura 1. Ubicación del proyecto. Coordenadas: 5.401447, -75.545765

1.1. Normatividad

Este diseño está orientado por el conjunto de normas y reglamentos que las entidades nacionales e internacionales han establecido para este tipo de obras. Específicamente se identifican las siguientes:

- Código Eléctrico Colombiano – NTC 2050 Segunda Actualización
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE 2024.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público– RETILAP 2024
- NFPA 70: National Electrical Code – NEC 2017.
- IEEE Std 242 – 1986
- IEEE Std C37.104TM – 2002.
- Norma IEEE80 – 2013.
- Normas para Construcción de Redes de Distribución – CHEC S.A E.S.P.
- Norma IEC 60364 – Diseño de Instalaciones Eléctricas.

1.2. Generalidades del proyecto

Nombre del proyecto: Planta de Beneficio Animal de La Merced.

Coordenadas del proyecto: 5.401447, -75.545765

Ciudad de ubicación: La Merced – Caldas.

Tipo de servicio: Oficial.

Número de cuentas: 1

Capacidad de carga instalada: 59 kVA

Tensión del proyecto: Nivel 2

1.3. Descripción del proyecto.

El proyecto contempla la adecuación de la Planta de Beneficio Animal de La Merced, la cual cuenta con 1 líneas de trabajo general para porcinos y bovinos. Además, cuanta con todas las zonas necesarias para procesar, almacenar y despachar todos los productos derivados de la línea de trabajo. El proyecto se encuentra ubicado en La Merced, Caldas

2. Desarrollo del diseño detallado acorde al artículo 3.3.1.1 del RETIE

a) Análisis de riesgo de origen eléctrico y medidas para mitigarlos

FACTOR DE RIESGO POR ARCOS ELÉCTRICOS

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones o quemaduras **EVENTO O EFECTO** (Ej: Quemaduras)	por	Arcos Eléctricos **FACTOR DE RIESGO** (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	Tableros eléctricos en baja tensión **FUENTE** (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X]	REAL [ ]				**FRECUENCIA**				
CONSECUENCIAS					**E**	**D**	**C**	**B**	**A**
En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		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
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) E3	Daños severos. Interrupción temporal E3	Contaminación localizada	Regional	**3**	**BAJO**	**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 E1	Interna E1	**1**	**MUY BAJO**	**BAJO**	**BAJO**	**BAJO**	**MEDIO**

Evaluador:	**Juan Felipe García Franco**	MP:	**CL205-128247**	Fecha:	**28/11/2025**

Nivel de riesgo:	**Medidas de protección:** Se utilizarán equipos y accesorios certificados cumpliendo con la normatividad vigente. El acceso a los tableros será por personal adecuado y solo se abrirá en caso de mantenimientos. Los empalmes y técnicas usadas serán por personas debidamente capacitadas conservando la respectiva calidad.
BAJO	

FACTOR DE RIESGO POR AUSENCIA DE ELECTRICIDAD

RIESGO A EVALUAR:	Perdida en la continuidad del servicio EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	por	Ausencia de tensión FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	Red de distribución FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA E No ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA D Ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA C Ha ocurrido en la Empresa	FRECUENCIA B Sucede varias veces al año en la Empresa	FRECUENCIA 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 D3	Contaminación localizada	Regional E3	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad) E2	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor E2	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

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
MEDIO	La ausencia de electricidad afecta las labores normales del proyecto y pueden poner en riesgo la calidad de los productos que allí se producen. En cuanto a la iluminación de emergencia, se debe contar con equipos que incluyan batería con suficiente energía para iluminar al menos 1 hora.

FACTOR DE RIESGO POR CONTACTO DIRECTO

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones o quemaduras EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	por	contacto directo FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	Maquinaria, tableros o redes internas FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA E No ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA D Ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA C Ha ocurrido en la Empresa	FRECUENCIA B Sucede varias veces al año en la Empresa	FRECUENCIA 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) E3	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	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 E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
BAJO	Se cumple con las distancias de seguridad, el aislamiento y recubrimiento de partes activas; Además, se cuenta con los interruptores debidamente seleccionados según las cargas y la equipotencialiciación y conexión al SPT.

FACTOR DE RIESGO POR CONTACTO INDIRECTO

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones o quemaduras EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	por	contacto indirecto FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	Maquinaria, tableros o redes internas FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA E No ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA D Ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA C Ha ocurrido en la Empresa	FRECUENCIA B Sucede varias veces al año en la Empresa	FRECUENCIA 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 dia) E3	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	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 E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
BAJO	Es poco usual que suceda, sin embargo, se cumple con las distancias de seguridad, el aislamiento y recubrimiento de partes activas; Además, se cuenta con los interruptores debidamente seleccionados según las cargas y la equipotencialiciación y conexión al SPT.

FACTOR DE RIESGO POR CORTOCIRCUITO

RIESGO A EVALUAR:	Incendio o quemaduras EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	por	corto circuito FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	instalaciones internas FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA E No ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA D Ha ocurrido en el sector	FRECUENCIA C Ha ocurrido en la Empresa	FRECUENCIA B Sucede varias veces al año en la Empresa	FRECUENCIA 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 E4	Daños mayores. Salida de subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 dia)	Daños severos. Interrupción temporal E3	Contaminación localizada E3	Regional E3	3	BAJO	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

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
MEDIO	Se cuenta con los interruptores debidamente seleccionados según las cargas y la equipotencialiciación y conexión al SPT. Los tableros y redes electricas deben ser manipulados por personal capacitado y con los elementos de protección adecuados.

FACTOR DE RIESGO POR ELECTRICIDAD ESTÁTICA

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones y daños en equipos (EVENTO O EFECTO, Ej: Quemaduras)	por	electricidas estática (FACTOR DE RIESGO, Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	tableros y equipos eléctricos (FUENTE, Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA 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	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 E1	Daños leves. No interrupción E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	**Medidas de protección:** Se cuenta con Sistema de puesta a tierra físico y sólido con baja resistencia equipotencializada y conexión de todos los dispositivos a esta.
MUY BAJO	

FACTOR DE RIESGO POR EQUIPO DEFECTUOSO

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones - incendio (EVENTO O EFECTO, Ej: Quemaduras)	por	equipo defectuoso (FACTOR DE RIESGO, Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	instalaciones internas (FUENTE, Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA 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) E3	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional E3	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve E2	Efecto menor E2	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

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	**Medidas de protección:** Todos los elementos instalados son nuevos y certificados, adicional a la construcción que se realizara siguiendo la normatividad existente. Se utilizarán las técnicas según la normatividad vigente con personal debidamente capacitado.
BAJO	

FACTOR DE RIESGO POR RAYOS

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones - daño de equipos	por	descarga eléctrica atmosférica	(al) o (en)	estructura
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)		FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA 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) E3	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional E3	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve E2	Efecto menor E2	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

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
BAJO	Se cuenta con sistema de protección a tierra solido de baja resistencia.

FACTOR DE RIESGO POR SOBRECARGA

RIESGO A EVALUAR:	Incendio - Quemaduras	por	sobrecarga	(al) o (en)	redes internas
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)		FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA 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	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 E1	Daños leves. No interrupción E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
MUY BAJO	Se dimensionan los tableros, conductores y calibres dependiendo de la carga solicitada, dejando las respectivas reservas para futuras ampliaciones.

FACTOR DE RIESGO POR TENSIÓN DE CONTACTO

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones o quemaduras EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	por	tensión de contacto FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	redes internas FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA 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	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad) E2	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral	Daños leves. No interrupción E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
BAJO	Se tiene sistema de puesta a tierra física de baja resistencia Se cuenta con equipotencialización de tierras. Se tiene barraje en tableros para la conexión de dichos circuitos y equipos a tierra.

FACTOR DE RIESGO POR TENSIÓN DE PASO

RIESGO A EVALUAR:	Lesiones EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	por	tensión de contacto FACTOR DE RIESGO (Ej: Arco eléctrico)	(al) o (en)	redes internas FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)

POTENCIAL [X] REAL [ ]

CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA 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	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad) E2	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral	Daños leves. No interrupción E1	Sin efecto E1	Interna E1	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador: **Juan Felipe García Franco** MP: **CL205-128247** Fecha: **28/11/2025**

Nivel de riesgo:	Medidas de protección:
BAJO	Se tiene sistema de puesta a tierra física de baja resistencia Se cuenta con equipotencialización de tierras. Se tiene barraje en tableros para la conexión de dichos circuitos y equipos a tierra.

b) Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección.

Se realiza estudio del sistema de protección contra descargas atmosféricas, y se anexa el cálculo a este informe.

Introducción

El estudio presentado a continuación corresponde al análisis de riesgo para reducir las pérdidas debidas a ratos a través de un procedimiento que permite la selección de medidas de protección apropiadas que deben adoptarse para reducirse el riesgo a un límite tolerable o por debajo de él. En el estudio se deben entre otras cosas clasificar la estructura, determinar el riesgo de daño, el nivel de protección requerido y seleccionar el tipo de protección (externa y/o interna) contra descargas atmosférica cuando el riesgo tolerable lo requiera.

En el caso de que se requiera un sistema de protección externa se procede a dimensionar los elementos y dispositivos necesarios para interceptar el rayo y conducirlo adecuadamente a la tierra por medio del método electro geométrico, para cumplir con lo establecido en el RETIE evitando la circulación de corrientes peligrosas para los equipos, las instalaciones y las personas.

Ningún sistema protege totalmente contra la acción del rayo, sin embargo, la aplicación de estas normas reducirá de forma significativa el riesgo de los daños producidos por el rayo.

Objetivo

Definir y determinar la metodología para el análisis de riesgo de acuerdo con la norma NTC 4552 – 2 “Manejo del Riesgo” y de acuerdo con este análisis seleccionar medidas de protección adecuadas para reducir las pérdidas debidas a rayos en la estructura.

Alcance

Determinar el Sistema Integral de Protección contra descargas Atmosféricas (SIPRA) para el diseño del proyecto “Planta de Beneficio Animal de La Merced”

Normatividad

Este diseño está orientado por el conjunto de normas y reglamentos que las entidades nacionales e internacionales han establecido para este tipo de obras. Específicamente se identifican las siguientes:

- Código Eléctrico Colombiano – NTC 2050 Segunda Actualización.
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE 2024
- IEC 62305 – 2 Manejo del Riesgo
- IEC 63305 – 3 Daños físicos a estructuras y amenazas a la vida

- NTC 4552 – 1 Protección contra rayos. Principios Generales
- NTC 4552 – 2 Protección contra rayos. Manejo del riesgo
- NTC 4552 – 3 Protección contra rayos. Daños físicos a estructuras y amenazas a la vida
- IEC 60364 – Diseño de Instalaciones Eléctricas

Protección contra descargas atmosféricas

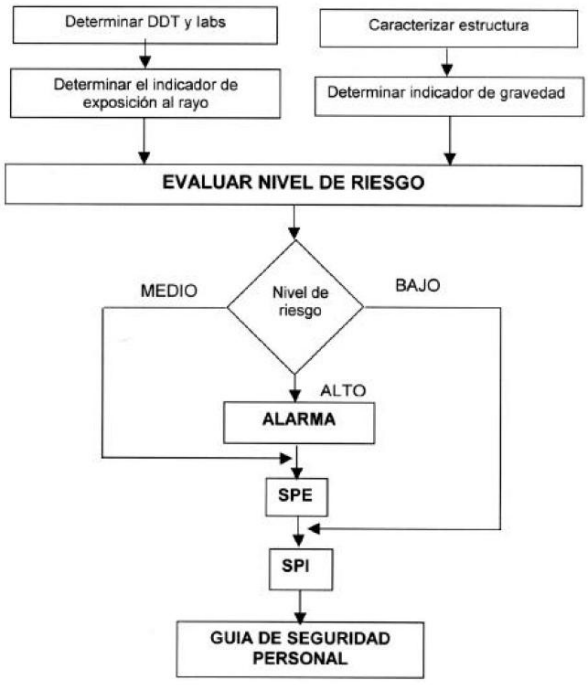
Las descargas eléctricas atmosféricas no se pueden evitar, pero existen medidas para ejercer un control que ofrezca seguridad a las personas y a los equipos eléctricos y electrónicos. Por lo tanto, las precauciones de protección apuntan hacia los efectos secundarios y a las consecuencias de una descarga eléctrica atmosférica a tierra.

El nivel de riesgo se obtiene de la ponderación de los indicadores de exposición del rayo y de la gravedad que puede implicar un impacto directo o indirecto del rayo sobre la estructura o instalación.

Evaluación del factor de riesgo para protección contra rayos

La evaluación del riesgo es un elemento fundamental en el procedimiento para diseñar un sistema de protección contra rayos, y especialmente en el procedimiento de selección del nivel de protección. Por ello el método de evaluación debe ser efectivo y relativamente simple (Torres, Sánchez, 2009). Para encontrar el nivel de riesgo se tienen en cuenta cuatro índices, clasificados y ponderados dentro de dos características:

- Parámetros de los rayos
- Índices relacionados con la estructura



Determinación de DDT e labs

Basado en la descripción del libro del profesor Horacio Torres Sánchez

La determinación de la variable labs se hizo utilizando la distribución de frecuencia acumulada de amplitud y de corriente de rayo según el comité CIGRE, 1979. De acuerdo con resultados de investigación se ha planteado la hipótesis de que, en países tropicales, como Colombia, se pueden esperar valores de parámetro de rayo superiores a lo de otras latitudes. Es por ello por lo que en Colombia se recomienda utilizar para diseño de protección contra rayos, valor de parámetro de rayo con baja probabilidad de ser superados.

Teniendo en cuenta la recomendación de la norma, se hizo un análisis para diferentes valores de probabilidad de corriente pico, buscando un rango de valores para el riesgo, entre 20 y 50 % de probabilidad.

"*Los valores máximos de los parámetros de corriente del rayo del nivel I (NPR) se reduce a 75 % para el nivel II, y a 50 % para los niveles III y IV. Los parámetros del tiempo no cambian"*
(NTC 4552 – 1)

Probabilidad	Corriente Pico (kA)
50 %	30 kA
20 %	50 kA

La Densidad de Descargas a Tierra con base en el "*ANEXO A: Caracterización de los parámetros meteorológicos en las zonas de influencia del grupo EPM"* nos indica en la siguiente tabla que la DDT para el área del proyecto es de 11.2 rayos/km² año.

ZONA CALDAS	
Municipio	**DDT [Rayos/km2 x Year]**
Filadelfia	10,6
La Merced	11,2
Marmato	11,2
Riosucio	10,2
Supía	10,7
Riosucio	10,2
Manzanares	12,7
Marquetalia	13,6
Marulanda	12,3
Pensilvania	13,5
Anserma	9
Belalcázar	8,1
Risaralda	8,9
San José	8,5
Viterbo	8
Chinchiná	9
Manizales	9,9
Neira	10,3
Palestina	9,1

Densidad de descargas a tierra [Descargas/km^2 - año]	**Corriente pico absoluta promedio [kA]**		
	$40 \leq I_{abs}$	**$20 \leq I_{abs} < 40$**	**$I_{abs} < 20$**
$30 \leq DDT$			
$15 \leq DDT < 30$			
$5 \leq DDT < 15$			
$DDT < 5$			

Severos Altos

Medios Bajos

Una vez realizado el cálculo de los parámetros, se procede a realizar la cuantificación del indicador de gravedad el cual depende del uso, tipo y geometría de la estructura.

$$I_G = I_{USO} + I_T + I_{AA}$$

Donde:

I_G: Indicador de gravedad

I_{USO}: Subindicador relacionado al uso de la estructura

I_T: Subindicador relacionado con el tipo de estructura

I_{AA}: Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura

Para obtener el indicador de gravedad se suman los subindicadores relacionados con el uso, tipo y geometría de la estructura.

Clasificación de estructuras	Ejemplos de estructura	Indicador
A	Teatros, centros educativos, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones	40
B	Edificios de oficinas, hoteles, viviendas, grandes industrias, áreas deportivas cubiertas.	30
C	Pequeñas y medianas industrias, museos, bibliotecas, sitios históricos y arqueológicos	20
D	Estructuras no habitadas	0

Subindicador relacionado con el uso de la estructura

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

Subindicador relacionado con el tipo de la estructura

Altura y área de la estructura	Indicador
Área menor a 900 m^2	
Altura menor a 25 m	5
Altura mayor o igual a 25 m	20
Área mayor o igual a 900 m^2	
Altura menor a 25 m	10
Altura mayor o igual a 25 m	20

Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura.

$$I_G = I_{USO} + I_T + I_{AA}$$

$$I_G = 20 + 20 + 5 = 45$$

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
0 a 35	Leve
36 a 50	Baja
51 a 65	Media
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

Indicador de gravedad

Nota: El ingeniero diseñador de la evaluación de riesgo para protección contra rayos, debe tomar en consideración la influencia de estructuras adyacentes a la evaluada.

Por lo tanto, la suma de subindicadores de estructura es de 45, considerándose un indicador de gravedad Baja.

Para concluir sobre el nivel de riesgo se ponderan los indicadores de exposición al rayo y de gravedad con la siguiente tabla.

GRAVEDAD / PARÁMETROS	Severa	Alta	Media	Baja	Leve
Severo					
Alto					
Medio					
Bajo					

Nivel de Riesgo de la estructura

ALTO

MEDIO

BAJO

Matriz de niveles de riesgo

De acuerdo con el nivel de riesgo del SIPRA.

Nivel de riesgo	Acciones recomendadas
NIVEL DE RIESGO BAJO	SPI para acometidas aéreas
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
NIVEL DE RIESGO MEDIO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
	SPE
NIVEL DE RIESGO ALTO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
	SPE
	Plan de prevención y contingencia

Acciones recomendadas según el nivel de riesgo

Nombre del Proyecto: Planta de Beneficio Animal de La Merced

Alcance: Cálculo de riesgo por descargas atmosféricas

Ubicación y entorno

Largo	Ancho	Altura	DDT
29 m	25,0 m	10 m	11 [rayos/km² - año]

Ubicación Relativa:	Objeto rodeado de objetos o árboles más altos
Tipo de estructura	Industrial, comercial, escuelas
Tipo de ambiente (entorno):	Edificaciones menores a 10 m de altura
Tipo de suelo (exterior):	Agricultura, concreto
Tipo de piso (interior):	Agricultura, concreto

Acometidas de Servicios

Ubicación de la acometida	Objeto rodeado de objetos o árboles más altos
Resistividad del terreno:	60 Ω-m

Acometidas de Energía

Tipo de Acometida:	Aérea	Longitud de la Línea:	20 m
Altura Acometida:	0 m	Transformador MT/BT:	Con transformador
Ubicación Relativa:	Objeto rodeado de objetos o árboles más altos		

Acometidas de Datos

Tipo de Acometida:	Subterránea	Longitud de la Línea:	15 m
Altura Acometida:	0 m		
Ubicación Relativa:	Objeto aislado: sin objetos en la vecidad		

Información de la estructura

☐ **Estructura Nueva**

☐ Sin medidas de protección

☑ Aislamiento eléctrico de bajantes expuestas

☑ Equipotencialización efectiva del suelo

☑ Avisos de advertencia

☐ Restricciones físicas o estructura usada como bajantes

Probabilidad de daños en la estructura: Sin SIPRA

Sistema de Protección interno **adoptado:** II

Características del cableado interno: Cables sin pantalla - Sin grandes lazos

☑ Estructura a proteger posee paredes y techos metálicos con un espesor entre 0,1 mm y 0,5 mm marque la casilla.

Ancho de la malla del apantallamiento externo: 06 m

Largo de la malla del apantallamiento externo: 02 m

Nivel de aislamiento de los equipos: 2 kV

☐ DPSs acorde a requerimientos equipotencialización la NTC 4552-3

☐ Coordinación de DPSs en conformidad a IEC 62305-4

Tipo de pérdidas

Humanas

Ubicación de las personas: Dentro de la estructura

Riesgo de fuego: Bajo

Medidas para reducir el riesgo de fuego: Extintores, hidrantes, ruras de evacuación, etc.

Clase de peligros: Nivel bajo de pánico (menos de 100 personas)

Posibles fallas en los servicios que representen pérdidas de vidas humanas: No hay pérdidas por fallas en los servicios

Servicios escenciales

Tipo de servicio público que no se debería perder: TV, Energía eléctrica

Nombre del Proyecto: Planta de Beneficio Animal de La Merced
Alcance: Cálculo de riesgo por descargas atmosféricas

Resultados de la evaluación del riesgo

Número de eventos peligrosos

A_D	Área efectiva de la estructura	6.704 m²
N_D	Promedia anual de Impactos sobre la estructura	0,0188 Rayos/año
A_m	Área de influencia de la estructura	224.075 m²
N_M	Impactos cercanos a la estructura	2,4909 Rayos/año
A_{C1}	Área efectiva de líneas aéreas ante descargas directas al servicio	-240 m²
N_{L1}	Número de Impactos directos sobre las líneas aéreas	0,0007 Rayos/año
A_{I1}	Área efectiva de líneas aéreas ante descargas indirectas al servicio	20.000 m²
N_{I1}	Impactos cercanos a las acometidas	0,1120 Rayos/año
A_{C2}	Área efectiva de líneas subterráneas ante descargas directas al servicio	116 m²
N_{L2}	Número de Impactos directos sobre las líneas subterráneas	0,0004 Rayos/año
A_{I2}	Área efectiva de líneas subterráneas ante descargas indirectas al servicio	2.905 m²
N_{I2}	Número de Impactos indirectos sobre las líneas subterráneas	0,0217 Rayos/año

Riesgo de Pérdidas de vidas humanas

R_{A1}	Riesgo de pérdida humana causado por tensiones de paso y contacto debido a un impacto directo sobre la estructura	1,87705E-13
R_{B1}	Riesgo de pérdida humana causado por explosión, fuego, daño mecánico debido a un impacto directo sobre la estructura	1,88E-06
R_{C1}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto directo sobre la estructura	0,00E+00
R_{M1}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto indirecto sobre la estructura	0,00E+00
R_{U1}	Riesgo de pérdida humana causado por tensiones de paso y contacto debido a un impacto directo sobre las línas de servicio	1,12E-12
R_{V1}	Riesgo de pérdida humana causado por explosión, fuego, daño mecánico debido a un impacto directo sobre las línas de servicio	-6,72E-08
R_{W1}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto directo sobre las líneas de servicio	0,00E+00
R_{Z1}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto indirecto sobre las línas de servicio	0,00E+00

R1= 1,81E-06

	Riesgo de Pérdidas del Servicio Público	
R_{B2}	Riesgo de pérdida del servicio causado por explosión, fuego, daño mecánico debido a un impacto directo sobre la estructura	1,50E-04
R_{C2}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto directo sobre la estructura	1,50164E-05
R_{M2}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto indirecto sobre la estructura	2,49E-07
R_{V2}	Riesgo de pérdida humana causado por explosión, fuego, daño mecánico debido a un impacto directo sobre las línas de servicio	5,21E-06
R_{W2}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto directo sobre las líneas de servicio	5,21E-07
R_{Z2}	Riesgo de pérdida humana causado por falla de equipo eléctrico/electrónico debido a una sobretensión causada por un impacto indirecto sobre las línas de servicio	1,13E-04
		R2= 2,84E-04

R1 Tolerable: 10,00 R1 Calculado: 1,81	R2 Tolerable: 1000,00 R2 Calculado: 283,83
Cumple	**Cumple**



Juan Felipe García Franco
Ingeniero Diseñador
MP. CL205-128247

De acuerdo con el análisis y con la tabla *Acciones recomendadas según el nivel de riesgo* de la NTC 4552 – 2, la estructura se clasifica como NIVEL DE RIESGO BAJO, y las acciones recomendadas para este tipo de riesgo son: Diseñar Sistema de Puesta a Tierra y Sistema de Protección Interno.

- **SPI (Sistema de Protección Interno)**

Para evitar que chispas, arcos eléctricos o cortocircuitos que puedan ser originados por sobretensiones transitorias ya sea por impacto directo de rayo en la edificación, o en sus acometidas de servicios (tales como electricidad, teléfono, gas, ductos metálicos), al igual que por tensiones inducidas por impactos indirectos o lejanos que puedan generar incendios, explosiones o sobretensiones que pongan riesgo vidas humanas; se debe equipotencializar las acometidas de servicios, pantallas de cables y otras partes metálicas normalmente no energizadas.

Los lineamientos expuestos están de acuerdo con los principios de coordinación de aislamiento; por lo tanto, los equipos para los cuales se especifican los métodos de mitigación deben tener definido una categoría de sobretensión; es decir, un nivel básico de impulso (BIL) de acuerdo con su ubicación en las instalaciones.

- **Sistema de puesta a tierra:**

El SPT en una locación comprende la unión de toso los equipos eléctricos, estructuras metálicas, tierras de subestaciones, etc., a una o varias puestas a tierra de resistencia óhmica baja, para establecer una condición equipotencial entre todos los equipos y estructuras, ofreciendo así un camino de baja impedancia a los rayos, la reducción del ruido en telecomunicaciones y un camino de retorno en circuitos eléctricos y electrónicos. Antes de conectar a tierra, todo conductor y las superficies por ser puesta a tierra deben ser limpiadas cuidadosamente de manera que se garantice la continuidad eléctrica. Cada sistema de puesta a tierra debe tener una caja de inspección cuadrada de 300 mm de lado o circular de 300 mm de diámetro con su respectiva tapa removible de concreto de 2500 psi, provista de manija.

El SPT es una parte fundamental del sistema de protección contra rayos que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal y de los equipos en caso de la incidencia de un rayo; puesto que provee una equipotencialidad a los equipos y estructuras y ofrece una trayectoria de baja resistencia a la corriente del rayo, permitiendo su dispersión en el terreno sin causar daño.

c) Análisis de cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.

A continuación, se presentan los cuadros de cargas del proyecto, donde se presentan la distribución de circuitos ramales de cada uno de los tableros, la selección económica del conductor, el dimensionamiento de las tuberías según el cable seleccionado y la regulación para verificar que todo cumple con los requisitos que exige la normativa vigente.

Tabla 1. Tablero de Distribución General

CUADRO DE CARGAS - TABLERO DE DISTRIBUCIÓN GENERALES																																
Circuito	Salidas de Tomacorrientes			Salidas de Luminarias				Cargas especiales	Analisis de Carga										Protección		Conductores				Canalización			Caida de Tensión		ROTULO
	Toma 120V	Toma GFCI	Toma GFCI estelirizador	Luminaria hermetica LED	Panel LED RD	Lum. Emerg.	Aviso de Salida luminoso		Fase			W	F.P	Demanda Total	Total	V	I	Tipo de Carga	In	Icc	Material	Calibre de Fase y Neutro		Calibre de Tierra	Material	Diametro	Ocupación de la tuberia	Longitud	ΔV	
	150W	150W	1500W	36W	18W	6W	6W	746W	A	B	C			(VA)	(VA)	(V)	(A)	# Fases	(A)	(kA)								(m)	(%)	
C1				18		12	2		732			732	0,95	771	771	120	6,42	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	37	2,49%	Luminarias
C2				23	2	7			906			906	0,95	954	954	120	7,95	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	22	1,83%	Luminarias
C3	5									750		750	0,95	789	789	120	6,58	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	22	1,52%	Tomas unidades sanitarias y oficina
C4	1	2	1							1950		1950	0,95	2053	2053	120	17,11	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	16,25	2,91%	Tomas pesaje, filtro sanitario, cabezas y pieles
C5								2,00			1492	1492	1	1492	1492	120	12,43	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	5	0,68%	Congelador industrial decomisos
C6		2	1								1800	1800	1	1800	1800	120	15,00	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	11	1,80%	Esteriliz. pasillo y filtro sanitario
C7			2						3000			3000	1	3000	3000	120	25,00	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	5	1,37%	Esteriliz. Procesos
C8			2						3000			3000	1	3000	3000	120	25,00	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	8	2,19%	Esteriliz. Procesos
C9			2							3000		3000	1	3000	3000	120	25,00	1Φ	1x30	10	Cu	1x	10	10	EMT	3/4"	12,15%	13	2,13%	Esteriliz. Procesos
C10			2							3000		3000	1	3000	3000	120	25,00	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	8	2,19%	Esteriliz. Visceras blancas
C11			2								3000	3000	1	3000	3000	120	25,00	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	9	2,46%	Esteriliz. Procesos
C12			2								3000	3000	1	3000	3000	120	25,00	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	10	2,73%	Esteriliz. Visceras rojas
C13	1	1							300			300	1	300	300	120	2,50	1Φ	1x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	1/2"	16,08%	10	0,27%	Tomas lavapanzas y caldera
C14	--	--	--	--	--	--	--	--	--			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Reserva
C15	--	--	--	--	--	--	--	--		--		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Reserva
C16	--	--	--	--	--	--	--	--		--		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Reserva
C17	--	--	--	--	--	--	--	--			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Reserva
C18	--	--	--	--	--	--	--	--			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Reserva
Total	7	5	14	41	2	19	2		7938	8700	9292	Prom	0,984615	Total	26158													Max - ΔV	2,91%	
									30%	33%	36%																			

CALCULO DEL ALIMENTADOR								
DEMANDA	CORRIENTE AL 125%	CONDUCTORES EN PARALELO	TIPO DE TABLERO	V	CALIBRE FASE Y NEUTRO (AWG)	CALIBRE TIERRA	LONGITUD (M)	ΔV(V)	%ΔV
26158	90,76	1,00	3Φ	208	2	6	2	0,20	0,10%

Alimentado por	TDE			
Tipo de Tablero	Tablero trifásico de 18 circuitos con puerta			
Conductor de llegada	3xN°2(F) + 1xN°2(N) + 1 N°6(T) AWG Cu			
Ducto de llegada	EMT	1x 1 1/2"	Ocupación	26,27%

Tabla 2. Tablero General de Equipos

CUADRO DE CARGAS - TABLERO DE DISTRIBUCIÓN EQUIPOS																							
Circuito	Cargas especiales	Analisis de Carga										Protección		Conductores				Canalización			Caida de Tensión		ROTULO
		Fase			W	F.P	F.U	Demanda Total	Total	V	I	Tipo de Carga	In	Icc	Material	Calibre de Fase y Neutro		Calibre de Tierra	Material	Diametro	Ocupación de la tuberia	Longitud	ΔV	
	746W	A	B	C				(VA)	(VA)	(V)	(A)	# Fases	(A)	(kA)								(m)	(%)	
C1-3-5	3	746	746	746	2238	0,95	100%	2356	2356	208	6,54	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	18	0,62%	Cuarto Frio
C2-4-6	3	746	746	746	2238	0,95	100%	2356	2356	208	6,54	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	19	0,65%	Cuarto Frio
C7-9-11	5	1243	1243	1243	3730	0,95	100%	3926	3926	208	10,90	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	18	1,03%	Cuarto Frio
C8-10-12	3	746	746	746	2238	0,95	100%	2356	2356	208	6,54	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	7	0,24%	Plataforma vertical
C13-15-17	2	497	497	497	1492	0,95	100%	1571	1571	208	4,36	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	5	0,11%	Sierra Canal
C14-16-18	2	497	497	497	1492	0,95	100%	1571	1571	208	4,36	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	5	0,11%	Sierra esternon
C19-21-23	5	1243	1243	1243	3730	0,95	100%	3926	3926	208	10,90	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	10	0,57%	Motor de transferencia
C20-22-24	5	1243	1243	1243	3730	0,95	100%	3926	3926	208	10,90	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	11	0,63%	Escaldador y depilador de porcinos
C25-27-29	3	746	746	746	2238	0,95	100%	2356	2356	208	6,54	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	7	0,24%	Desolladora
C26-28-30	3	746	746	746	2238	0,95	100%	2356	2356	208	6,54	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	15,5	0,53%	Lavapanzas
C31-33-35	3	746	746	746	2238	0,95	100%	2356	2356	208	6,54	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	11	0,38%	Motor de Izado
C32-34-36	2	497	497	497	1492	0,95	100%	1571	1571	208	4,36	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	19	0,43%	Caldera
C37-39-41	1	249	249	249	746	0,95	100%	785	785	208	2,18	3Φ	3x20	10	Cu	1x	12	12	EMT	3/4"	15,32%	24	0,27%	Sensibilizador
C38-40-42	35	8719	8719	8719	26158	0,95	100%	27535	27535	208	76,43	3Φ	3x80	10	Cu	1x	4	8	EMT	1 1/2"	18,93%	2	0,13%	TDG
Total	75,06	18666	18666	18666	Prom	0,95	Total	58946														Max - ΔV	1,03%	
		33%	33%	33%																				

CALCULO DEL ALIMENTADOR									
DEMANDA	CORRIENTE AL 125%	CONDUCTORES EN PARALELO	TIPO DE TABLERO	V	CALIBRE FASE Y NEUTRO (AWG)	CALIBRE TIERRA	LONGITUD (M)	ΔV(V)	%ΔV
58946	204,52	1,00	3Φ	208	4/0	4	20	1,66	0,80%

Alimentado por	Punto de conexión O.R. CHEC			
Tipo de Tablero	Tablero trifásico de 42 circuitos con puerta y espacio para totalizador			
Conductor de llegada	3xN°4/0(F) + 1xN°4/0(N) + 1 N°4(T) AWG Cu			
Ducto de llegada	EMT	1x 2 1/2"	Ocupación	23,09%

d) Coordinación de aislamiento eléctrico

Para evitar que chispas, arcos eléctricos o cortocircuitos que puedan ser originados por sobretensiones transitorias ya sea por impacto directo de rayo en la edificación, o en sus acometidas de servicios generales (tales como electricidad, teléfono, gas, ductos metálicos), al igual que por tensiones inducidas por impactos directos o lejanos que puedan generar incendios, explosiones o sobretensiones que pongan en riesgo vidas humanas; se debe equipotencializar las acometidas de servicios, pantallas de cables, y otras partes metálicas normalmente no energizadas.

Los equipos para los cuales se especifican los métodos de mitigación deben tener definido una categoría de sobretensión; es decir, un nivel básico al impulso (BIL) de acuerdo con su ubicación en las instalaciones, la categoría de sobretensión a continuación:

Nivel de tensión de operación de los equipos V	BIL requerido en kV			
	Contadores	Tableros, interruptores, cables, etc.	Electrodomésticos, herramientas portátiles	Equipos electrónicos
	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
120/240; 120/208	4	2.5	1.5	0.8
254/440; 277/480	6	4	2.5	1.5

Tensión al impulso que deben soportar los equipos

Se pretende controlar la posibilidad de pérdida del suministro de energía eléctrica, ocasionado por sobretensiones que pudieran causar daños en los conductores y equipos y en los elementos de protección de la instalación.

- Altura sobre el nivel del mar: 1819 msnm
- Temperatura ambiente promedio: 22°C

e) Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra

Los métodos más conocidos para el análisis de cortocircuito son: a) método de las componentes simétricas el cual es un método exacto, b) Método porcentual o método por unidad, c) método de los MVA's o método de las potencias, d) Método de la matriz Zbarra el cual es otro método exacto, e) Análisis por software.

El objetivo primordial del análisis de cortocircuito es calcular el valor máximo de la corriente para determinar la capacidad de los elementos de protección y maniobra de las instalaciones.

Siendo consecuentes con lo anterior, los breakers de los circuitos ramales del diseño tienen capacidades de 1x20A, 1x30A debido a la carga calculada de los mismos, las protecciones parciales del tablero general de baja tensión las cuales no tiene corrientes nominales superiores a los 3x20A y 3x100A y el totalizador principal de 3x200A. Las protecciones seleccionadas cumplen todos y cada uno con los principios de la coordinación de protecciones como lo que son la confiabilidad, selectividad, sensibilidad y velocidad.

En diseños para redes de baja tensión, no se considera fundamental realizar un análisis de cortocircuito y falla a tierra riguroso debido a la configuración de las redes de uso final, hecho que sí es de fundamental estudio en las redes de media y alta tensión.

El transformador que alimentará la instalación tiene una capacidad de 75 kVA. Para transformadores con esta capacidad nominal, la impedancia de cortocircuito es de 3.5%, por lo tanto, la corriente de cortocircuito nominal a tensión nominal 208 V es:

$$I_{sc} = \frac{I_N}{Z_{sc}}$$

$$I_N = \frac{75000\ VA}{208V * \sqrt{3}} = 208.18\ A$$

$$I_{sc} = \frac{208.18\ A}{0.035} = 5948\ \boldsymbol{A}$$

Con base en el cálculo anterior, la capacidad de cortocircuito de las protecciones termomagnéticas no debe ser menor a 10 kA.

f) Análisis del nivel de tensión requerido

Para la conexión de la red del alimentador para el proyecto, se utilizará red de media tensión existente, conectada de transformador de 75 kVA trifásico

Red de distribución

- **Tensión de suministro:** 208/120 V
- **Tipo de red:** Trifásica aérea
- **Conductor:** cobre
- **Temperatura de operación:** 15 kV
- **Longitud de la red secundaria:** 0 m

Se construirá de acuerdo con la Norma Técnica de Medida de CHEC

g) Cálculos de campos electromagnéticos.

Este diseño no contempla ninguno de los escenarios descritos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE en su artículo 3.3.3.2, por lo que no aplica la realización de estudios y cálculos de campos electromagnéticos.

En lo referente a este proyecto, se debe considerar la influencia de campos electromagnéticos si las personas tienen exposición de ocho (8) horas o más a los valores de intensidad establecidos en la tabla 3.11.1 del RETIE.

Las razones por las que este cálculo no aplica para el presente trabajo son las siguientes:

- No hay probabilidad de que en la edificación exista exposición de personas por más de ocho (8) horas a intensidades de campo peligrosas.
- No hay posibilidad que en la construcción se presenten densidades de flujo magnético mayores a mil micro teslas e intensidades de campo eléctrico mayores a 8.3 kV/m.
- Finalmente, la instalación eléctrica en cuestión es menor a 57.7 kV.

h) Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga

El proyecto se conectará desde un transformador existente de 75kVA sumergido en aceite tipo poste.

i) Sistema de puesta a tierra

Diseño del Sistema de Puesta a Tierra

Los sistemas de puesta a tierra deben garantizar la protección de las personas, por esta razón el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2024 dedica un capítulo a este importante componente. La tabla 3.12.3.a, referencia una resistencia de 25 ohmios para sistemas de puesta a tierra en acometidas en Baja Tensión.

Con base en el estándar IEEE 80, se precede a realizar el diseño de la malla de puesta a tierra para el sistema eléctrico del proyecto.

Tabla 3.12.3. a. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

Fuente: Adaptada de las normas ANSI/IEEE 80, NTC 2050 Segunda Actualización y NTC 4552-1.

Planta de Beneficio Animal de La Merced

Diseñó: Juan Felipe García Franco

DISEÑO BASADO EN EL STANDARD IEEE 80 - 2000

Consideraciones:

- Geometría cuadrada, rectangular
- Distancias de separación entre conductores paralelos entre 2 m y 15 m.
- Profundidades típicas de la malla entre 0,5 m y 1,5 m.
- Calibre de conductores típico entre 2/0 AWG y 500 kcmil.
- Tamaño de la retícula interna de la malla uniforme.
- Se pueden incluir electrodos verticales (varillas) siempre y cuando estén ubicadas uniformemente en la periferia o en el área total de la malla.

PARAMETROS DE ENTRADA

ρ	**60**	Resistividad del terreno [Ω/m]
ρ_s	**3500**	Resistividad superficial del terreno [Ω/m]
h_s	**0,3**	Espesor capa superficial [m]
I_0	**1310**	Corriente de falla a tierra asimétrica [A] (Operador de red)
t_s	**0,15**	Tiempo de despeje de la falla (Requisito operador de red) [s]
Material del conductor	**Cobre duro soldadura exotermica**	
Seleccione el peso [kg]	**50**	

DISEÑO SEGÚN IEEE 80-2000 31,2

1) Cálculo de la sección del conductor

$$A_{mm^2} = I_0 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \quad (40)$$

A_{mm^2}:	Área del conductor $[mm^2]$
I_0:	Corriente de falla $[kA\ rms]$
T_m:	Teperatura máxima [°C]
T_a:	Temperatura ambiente [°C]
T_r:	Temperatura de referencia para las constantres de materiales [°C]
t_c:	Tiempo de despeje de la falla $[s]$
$\propto_r$:	Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia.
ρ_r:	Resistividad del conductor a la temperatura de referencia $[\mu\Omega/cm^3]$
$K_0 = (1/\alpha_r) - T_r$	
TCAP:	Factor de capacidad térmica $[J/cm^3/C]$

Simplificando

$$A_{mm^2} = \frac{I K_f \sqrt{t_s}}{1{,}9737} \quad (42)$$

A_{mm^2}:	Área del conductor $[mm^2]$
I_0:	Corriente de falla $[kA\ rms]$
t_c:	Tiempo de despeje de la falla $[s]$
K_f:	Constante del material para $valores\ de\ T_m\ y\ T_a = 40$°C

K_f =	7,06	
A=	1,815	mm^2
d=	0,01	

Conductor minimo recomendado IEEE 80 es: 1/0 AWG

2) Cálculo de las tensiones de contacto y de paso tolerables

Tensiones de paso y contacto 50 kg

$$E_{step50} = \frac{(1000+6\cdot C_s\cdot \rho_s)\times 0{,}116}{\sqrt{t_s}} \quad (29)$$

$$E_{touch50} = \frac{(1000+1{,}5\cdot C_s\cdot \rho_s)\times 0{,}116}{\sqrt{t_s}} \quad (32)$$

Tensiones de paso y contacto 70 kg

$$E_{step70} = \frac{(1000+6\cdot C_s\cdot \rho_s)\times 0{,}157}{\sqrt{t_s}} \quad (30)$$

$$E_{touch70} = \frac{(1000+1{,}5\cdot C_s\cdot \rho_s)\times 0{,}157}{\sqrt{t_s}} \quad (33)$$

C_s: Coeficiente de reducción
ρ_s: Resistividad superficial del terreno [Ω/m]
t_s: Tiempo de despeje de la falla $[s]$

$$C_s = 1 - \frac{0{,}09\times\left(1-\frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2\times h_s + 0{,}09} \quad (27)$$

Si no se utiliza ningún material, la resistividad de la capa superficial ρs será la misma resistividad del terreno y el coeficiente de reducción Cs será igual a 1.

C_s= 0,8718

Tensión de paso tolerable

E_{st}= 5782,9 V

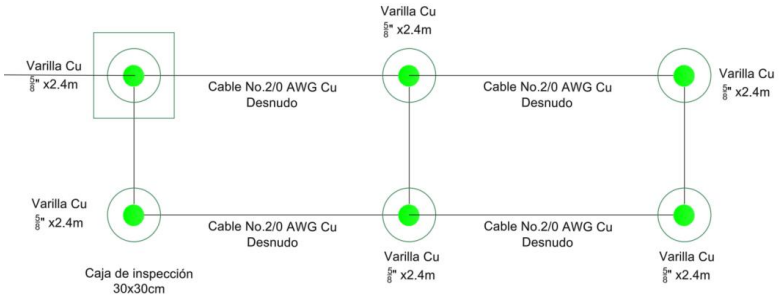
Tensión de contacto tolerable

E_t= 1670,36

3) Configuración diseño inicial

Ingresar datos iniciales de diseño

L_1=	6	Largo de la malla	La mala tiene varillas ubicadas en las esquinas o en el perimetro?
L_2=	1,5	Ancho de la malla	**SI**
D=	3,00	Reticula de la malla	
h=	0,4	Profundidad de enterramiento de la malla	
N=	6	Número de electrodos de la malla (No. Varillas)	
L_v=	2,44	Longitud de los electrodos (Varillas)	



$$L_T = L_C + N \times L_v$$

$$L_c = \left(\frac{L_1}{D}+1\right)\times L_2 + \left(\frac{L_2}{D}+1\right)\times L_1$$

L_T= 28,14 m
L_C= 13,5 m
Área= 9 m^2

4) Cálculo de la resistencia de puesta a tierra

$$R_g = \rho\left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20\times A}}\left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{{}^{20}/_{A}}}\right)\right] \qquad (52)$$

R_g= 9,41 ohm **Resistencia de puesta a tierra cumple Tabla 25 RETIE**

5) Cálculo de la corriente inyectada a la malla

$$I_G = D_f \times S_f \times I_f \qquad (65)$$

I_G: Corriente inyectada a la malla $[mm^2]$
D_f: Factor de decremento para la duración total de la falla
S_f: Factor de división de corriente relaciona la magnitud de la falla con la porcion de esta que fluye entre la malla y la tierra circundante
I_f: Corriente de falla a tierra simetrica $[A\ rms]$

D_F= 1,125
S_f= 0,4
I_G= *589,5* A

6) Cálculo de la elevación del potencial de malla

$$GPR = R_g \times I_G$$

GPR= 5544,79 V
E_t tolerable= 1670,36 V
Puesto que GPR > Et Tolerable, se debe evaluar las tensiones de paso y contacto

7) Cálculo de tensión de malla

$$E_m = \frac{\rho\cdot K_m\cdot K_i\cdot I_G}{L_M} \qquad (80)$$

$$K_m = \frac{1}{2\cdot\pi}\left[\ln\left[\frac{D^2}{16\cdot h\cdot d} + \frac{(D^2+2\cdot h)^2}{8\cdot D\cdot d} - \frac{h}{4\cdot d}\right] + \frac{K_{ii}}{K_h}\cdot\ln\left[\frac{8}{\pi(2\cdot n-1)}\right]\right] \qquad (81)$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2\cdot n)^{\frac{2}{n}}} \qquad (82)$$

Para mallas sin varillas o con unas pocas, ninguna localizada en las esquinas o en el perímetro

$$K_{ii} = 1$$

Para mallas con varillas a lo largo del perímetro, o en las esquinas, o conjuntamente a lo largo del perímetro y dispersadas en el área de la malla.

$$K_h = \sqrt{1+h}$$

$$K_i = 0{,}644 + 0{,}148n$$

D: Distancia entre conductores paralelos [m]
h: Profundidad de los conductores de la malla [m]
n: Número d conductores paralelos
Lc: Longitud total del conductor en la malla horizontal [m]
Lp: Longitud en metros del perimetro de la malla

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \qquad (85)$$

$$L_P = \left(L_x + L_y\right)\times 2$$

L_p= 15
n_a= 1,8

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\cdot\sqrt{A}}} \quad (86) \qquad n_c = \left[\frac{L_x\cdot L_y}{A}\right]^{\frac{0,7\cdot A}{L_x\cdot L_y}} \quad (87) \qquad n_d = \frac{D_m}{\sqrt{Lx^2+Ly^2}} \quad (88)$$

$n_b = n_c = n_d = 1$ Para mallas cuadradas

n= 1,8

$L_M = L_c + L_R$ Para mallas sin varillas o con unas pocas, ninguna localizada en las esquinas o en el perímetro

$L_R =$ es la longitud total de las varillas

$L_M = L_c + \left[1{,}55 + 1{,}22\left(\frac{L_r}{\sqrt{Lx^2+Ly^2}}\right)\right]L_R$ Para mallas con varillas a lo largo del perímetro, o en las esquinas, o conjuntamente a lo largo del perímetro y dispersadas en el área de la

$L_r =$ es la longitud de cada varilla en metros

L_M= 43,239
K_{ii}= 1,000
K_h= 1,183
K_i= 0,9104

K_m= 0,83295

Tensión de malla calculada

E_m = 620,322
E_t= 1670,36

¿Tensión de malla < tensión de contacto tolerable? $E_m < E_t$

¡Tensión de malla cumple!

8) Cálculo de la tensión de paso

$$E_s = \frac{\rho\cdot K_s\cdot K_i\cdot I_G}{L_s} \quad (92)$$

$$L_s = 0{,}75\cdot L_C + 0{,}85\cdot L_R \quad (93)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2\cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}(1-0{,}5^{n-2})\right] \quad (94)$$

L_s= 22,569
K_s= 0,47573

Tensión de paso cálculada

E_s= 678,76
E_{st}= 5782,9

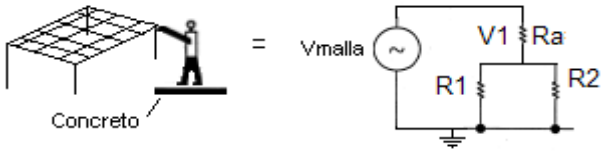
¿Tensión de paso cálculada < tensión de paso tolerable? $E_s < E_{st}$

¡Tensión de paso cumple!

¡Diseño exitoso!, cumple de acuerdo a Standard IEEE80-2000

9) EVALUACIÓN DE LA TENSIÓN DE CONTACTO APLICADA A UN SER HUMANO EN CASO DE FALLA

El circuito equivalente para la tensión a la que se expondría un ser humano en las condiciones como se evidencian en la siguiente figura se tiene:



Resolviendo el circuito:

$$R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = E_m \frac{R_a}{R_a + R_b}$$

$$R_1 \cong 3 \times \rho_s \ [\Omega]$$

$$R_2 \cong 3 \times \rho_s \ [\Omega]$$

$$R_a \cong 1000 \ [\Omega]$$

R_1= 10500

R_2= 10500

R_B= 5250

La tensión de contacto aplicada a un ser humano es:

V_1= 99,2516

La tensión de contacto soportada por un ser humano de acuerdo al RETIE es :

$$Máxima\ tensión\ de\ contacto = \frac{116}{\sqrt{t_s}} =$$ **299,51**

¿Tensión de contactoa aplicada< máxima tensión de contacto? V_1<Máxima tensión de contacto

¡Tensión de contacto aplicada cumple!

Ing. Juan Felipe García Franco

Como se puede apreciar en los cálculos y valores presentados, la resistividad esperada de la malla es menor a 10 ohmios como lo exige el RETIE. También se puede confirmar que los valores de las tensiones de paso y contacto son menores al GPR calculado lo cual hace que la operatividad de la malla de puesta a tierra sea óptima.

El conductor de tierra para los circuitos que conforman las instalaciones eléctricas del proyecto “Planta de Beneficio Animal de La Merced” se dimensionan acorde a la tabla 250-122 *Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos* de la NTC 2050 Segunda Actualización.

Tabla 250.122. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, tubo (*conduit*), etc., sin exceder (A)	Sección transversal			
	Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre*	
	mm²	AWG o kcmil	mm²	AWG o kcmil
15	2.08	14	3.30	12
20	3.30	12	5,25	10
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,2	1
500	33,62	2	53,5	1/0
600	42,2	1	67,44	2/0
800	53,5	1/0	85,02	3/0
1 000	67,44	2/0	107,21	4/0
1 200	85,02	3/0	126,67	250
1 600	107,21	4/0	177,34	350
2 000	126,67	250	202,68	400
2 500	177,34	350	304,02	600
3 000	202,68	400	304,02	600
4 000	253,35	500	380,02	750
5 000	354,69	700	633,38	1 200
6 000	405,36	800	633,38	1 200

NOTA Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4(A)(5) o (B)(4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.

* Véanse las restricciones de instalación en la sección 250.120

j) Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

A continuación, se presenta el cálculo económico de conductores realizado para cada tramo de alimentación de cada uno de los tableros del proyecto:

DESCRIPCIÓN	CORRIENTE (A)	COND. EN PARALELO	TIPO DE TABLERO	CALIBRE (AWG)			LONGITUD (M)	PÉRDIDAS (W)	COSTO GLOBAL CONDUCTOR ($)	PÉRDIDAS CONDUCTOR DE MAYOR CALIBRE (W)	COSTO GLOBAL CONDUCTOR DE MAYOR CALIBRE ($)
				F	N	T					
TDE a TDG	90,76	1	3Φ	2	2	6	2	31,65	$ 812.423	20,73	$ 746.976
Trafo a TDE	204,52	1	3Φ	4/0	4/0	4	20	611,85	$ 18.608.700	546,79	$ 18.141.810

Cálculo económico de conductores	
Número de años	10
Tasa de crecimiento	12%
Aumento anual de consumo	1%
Factor de pérdidas	0,3
Costo $/kWh	1162,04

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.

Luego de realizar verificación de los conductores, se concluye que dichos los conductores seleccionados cumplen con los tiempos de disparo de las protecciones seleccionadas y la corriente de cortocircuito del nodo y la capacidad de corriente del conductor para cada uno de los tableros de distribución y sus respectivos alimentadores.

Según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, este literal se debe desarrollar 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 60947-2.

Teniendo en cuenta lo anterior en los cuadros de cargas anexos se realizan las siguientes verificaciones:

- **Selección de conductores por corriente admisible:** La verificación de la selección de los conductores por corrientes admisibles se basa en la premisa de Ip<Ic, lo cual quiere decir que la corriente que se pronostica que va a circular por el conductor debe ser menor que la corriente máxima admisible del cable. En la siguiente tabla se realiza un resumen de los conductores que se han empleado en el diseño.
- **Verificación de caída de tensión:** Se realiza la verificación que la caída de tensión no supere el valor permitido de 3 % medido en bornes del lado de baja del transformador con el fin que al incluir la red de distribución se tena una regulación no mayor al 5 %.
- **Verificación por corriente de sobrecarga:** En esta verificación se debe tener en cuenta que la corriente más alta posible en el sistema diseñado no supere el 125 % de la capacidad de corriente de los cables para asegurar una adecuada coordinación de protecciones. Ningún conductor supera la capacidad nominal de corriente establecida por la norma.

De acuerdo con los criterios anteriores y con la tabla 310-15(b) *Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 V nominales y 60 ° y 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una*

canalización, o cable o tierra (enterrados directamente) y temperatura ambiente de 30 °C. De la NTC 2050 se seleccionan los conductores de circuitos ramales y alimentadores.

Tabla 310.15(B)(16) (Antes Tabla 310.16) Capacidades de corriente (*Ampacity*) permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2 000 V y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, o cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30 °C.

Sección trans.	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG kcmil
0,82	—	—	14	—	—	—	18**
1,31	—	—	18	—	—	—	16**
2.08	15	20	25	—	—	—	14**
3.30	20	25	30	15	20	25	12**
5,25	30	35	40	25	30	35	10**
8,36	40	50	55	35	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	55	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	115	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	145	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	195	230	260	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	350	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	315	375	425	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	445	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,7	455	545	615	375	445	500	1 000
633,38	495	590	665	405	485	545	1 250
760,05	525	625	705	435	520	585	1 500
886,73	545	650	735	455	545	615	1 750
1013,4	555	665	750	470	560	630	2 000

* Para los factores de corrección de la capacidad de corriente (*ampacity*) cuando la temperatura ambiente es distinta a 30 °C Ver la sección 310.15(B)(2). Consulte la sección 310.15(B)(3)(a) para más de tres conductores portadores de corriente.

** Para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor Ver sección 240.4(D).

l) **Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación.**

No aplica, dado que se usan apoyos existentes y no se extienden derivaciones nuevas de las redes actuales.

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.

Todas las protecciones han sido seleccionadas de manera adecuada y segura, teniendo en cuenta parámetros de confiabilidad y seguridad. Las selecciones de las protecciones se han realizado según los lineamientos de la NTC 2050 y acogiendo las exigencias del RETIE.
Las protecciones han sido calculadas de manera tal que, en caso de ocurrencia de una falla, el evento quede aislado por medio del disparo inmediato de la protección más cercana. Es así como las protecciones actuarían desde aguas abajo del circuito, si el evento se ocasionara en la carga.

n) Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.)

Los cuadros de cargas presentan el cálculo y selección de tubos y ductos utilizados y presentan el porcentaje de ocupación según la acometida o el conductor que está pasando por ellos.

o) Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia

No aplica. Armónicos despreciables.

p) Cálculos de regulación

Los cuadros de cargas presentan el cálculo de regulación (alimentadores principales y parciales):
Para el cálculo de la regulación de tensión se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\%Regulación = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

Donde V es la tensión entre fase y neutro y ΔV se define de la siguiente forma:

- Para circuitos monofásicos

$$\Delta V_{1\emptyset} = 2Z_{EF} * l * I$$

- Para circuitos trifásicos

$$\Delta V_{3\emptyset} = \sqrt{3} * \Delta V_{1\emptyset}$$

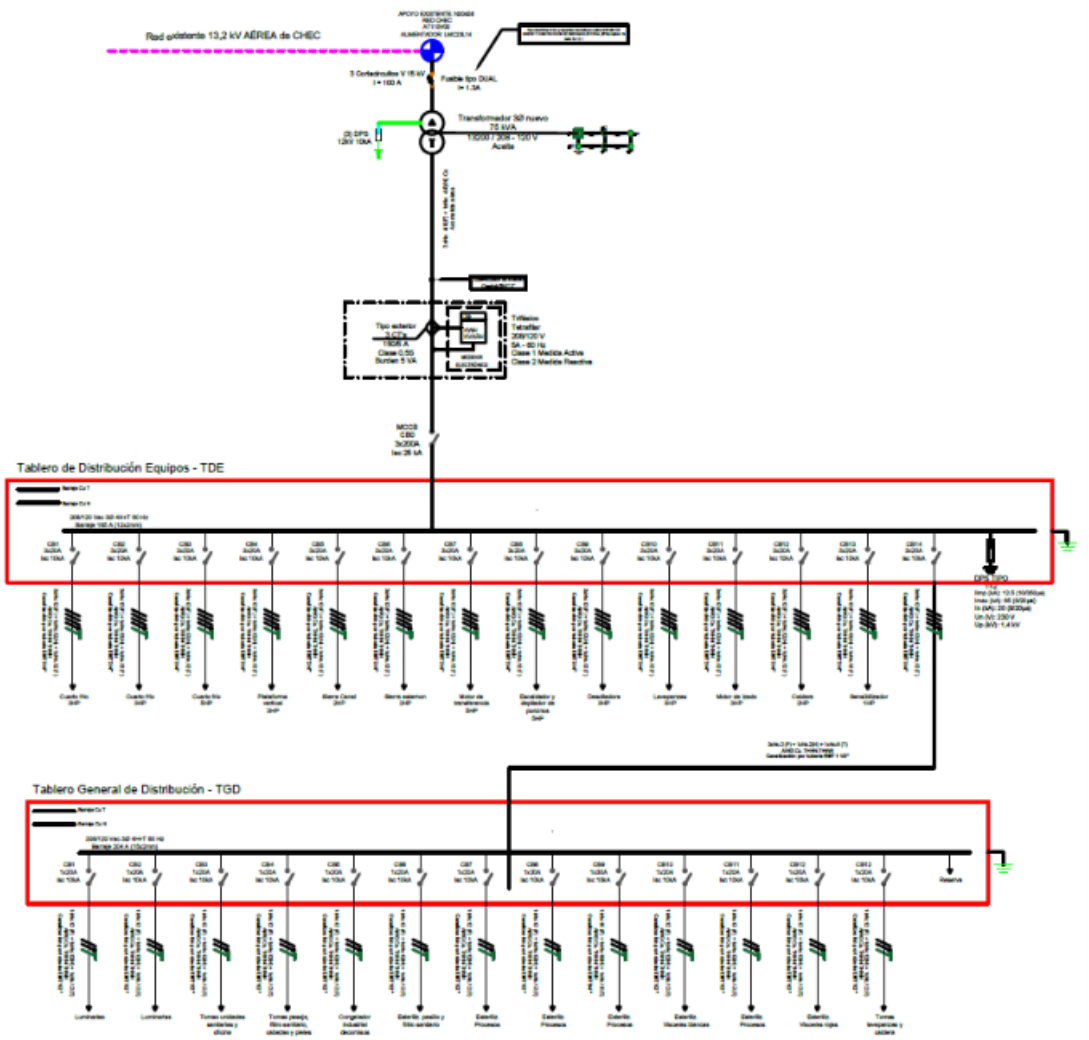
Donde $Z_{EF} = RCos\theta + XSin\theta$ (impedancia eficaz) en Ohm/km R y X son las resistencias y la reactancia del conductor y θ es el ángulo del factor de potencia del conductor, la impedancia eficaz es propia para cada tipo de conductor y cuyos valores se encuentran en tablas.

En los cuadros de carga se presenta el cálculo de regulación.

q) Áreas clasificadas como peligrosas.

El proyecto no contempla ningún área que se catalogue como especial y con la cual se deban tener consideraciones de diseño específicas. En las especificaciones técnicas constructivas y de productos se indica la característica general de los elementos a instalar en cada espacio, reiterando que no existe ningún área especial.

r) Diagramas unifilares



También se presenta anexo para mejor visualización.

s) Planos eléctricos para construcción

Se presentan anexos.

t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

- Los materiales utilizados en la construcción deben ser nuevos y homologados por un organismo certificador autorizado por la superintendencia de industria y comercio.
- Toda tubería embebida será tipo PVC y la tubería expuesta EMT.
- Los cálculos de regulación se encuentran conformes al RETIE.
- Los conductores y protecciones fueron calculadas de acuerdo a la tabla 310-15(b) de la NTC 2050.
- Todos los tomacorrientes deberán tener una caja de protección plástica de al menos IP65.

- El presente diseño puede variar de acuerdo a las necesidades de la construcción, por lo tanto, el diseñador no se hace responsable por los cambios efectuados sin su autorización.
- Los cálculos de regulación y caída de tensión (δv) se realizaron teniendo en cuenta la longitud más larga de cada circuito ramal.
- La caja de inspección .30x.30 del SPT, debe ser construida según las normas de la CHEC.
- Las luminarias de emergencia deben estar situadas al menos a 2 metros sobre el nivel del suelo.
- Las líneas indican ductos y conductores según convenciones, a menos que se indique lo contrario en planimetría.
- Conductores y diámetro de tuberías no especificados estarán a detalle en los cuadros de cargas.
- Todos los circuitos ramales de iluminación poseen conductores de fase, neutro y tierras independientes.
- Los interruptores se instalarán a 1,25 m sobre el nivel del piso sin terminar, medidos desde la parte baja del interruptor en forma vertical.
- Los retornos de los circuitos de iluminación serán del mismo color de la fase de alimentación del circuito.
- Cuando por una tubería vaya más de un circuito o se realice una derivación o desviación, se propone instalar cajas de paso de 15x15 cm para la derivación de los circuitos correspondientes. Se podrán instalar cajas de 10x10 cm si la capacidad lo permite (máximo 8 conductores de calibre 8 AWG).
- El código de colores a emplear: a) Todo conductor de NEUTRO será color BLANCO o identificarse con cinta del mismo color, b) Todo conductor de PUESTA A TIERRA será color VERDE o conductor desnudo, d) En sistemas trifilares (bifásicos) los colores de las fases serán: NEGRO para la Fase 1 y ROJO para la Fase 2, e) Para sistemas trifásicos los colores de las fases serán: AMARILLO para la Fase 1, AZUL para la Fase 2 y ROJO para la Fase 3.
- Los colores usados corresponden al RETIE y la norma NTC2050, en los casos que no se siga con esta indicación deberán rotularse visualmente los conductores con cintas de colores según la norma.
- Los empalmes deben hacerse con conector certificado tipo resorte.
- Los materiales usados deben estar certificados por el RETIE, CIDET y demás entes de control como de alta calidad.
- En la construcción se debe cumplir con las normas eléctricas vigentes NTC 2050, Normas CHEC SA ESP y RETIE 2024 última actualización.
- Las rutas acá planteadas son esquemáticas. El constructor podrá seguirlas o no siempre y cuando no afecte la funcionalidad y operatividad de la red eléctrica.
- Las redes de energía antes de medida deben ir por zonas libres de circulación común, en ningún caso por el subsuelo de otras construcciones.
- Los tomacorrientes en pared deben ir a una altura de 1,1m desde el piso y en las zonas normales de trabajo deben ser tipo GFCI y tener protección IP67.
- Este proyecto se revisa hasta: medida nivel de tensión I. Las protecciones ubicadas inmediatamente después de los equipos de medida.

- El diseño eléctrico de este proyecto se ha realizado con base en lo exigido por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2024, Norma Técnica Colombiana NTC 2050, la norma de Diseño de la Central Hidroeléctrica de Caldas - CHEC y las normas de diseño general del grupo EPM.
- La revisión de este proyecto por parte de CHEC no garantiza el cumplimiento con el RETIE, el diseñador y constructor deberán de verificarlo.
- Los materiales utilizados deben ser nuevos y tener certificado de conformidad de producto.
- El sistema de puesta a tierra y de ser necesario el sistema de protección contra sobretensiones, debe cumplir con lo especificado en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2024.
- Todas las estructuras metálicas, cajas, tuberías, puertas metálicas, deben estar aterrizadas.
- En la construcción de las obras eléctricas incluidas en el presente proyecto se debe dar cumplimiento a todas las disposiciones que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y de la preservación del medio ambiente contemplado en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE 2024.
- El transformador y las redes de uso general proyectadas hasta el punto de conexión asignado al proyecto serán propiedad de CHEC.
- El diseño y construcción de la malla de puesta a tierra es responsabilidad del diseñador y constructor del proyecto. El inspector que certifica la instalación, deberá revisar la malla de puesta tierra y verificar que cumple con lo exigido por el RETIE.

u) **Establecer Distancias de seguridad o servidumbre requeridas.**

Las distancias mínimas de seguridad que deben guardar las partes energizadas respeto de las construcciones, se establecen en la siguiente tabla.

Tabla 3.10.1. a. Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES		
Descripción	**Tensión nominal entre fases (kV)**	**Distancia (m)**
Distancia vertical **"a"** sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 3.10.1. a.).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal **"b"** a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 3.10.1. a.)	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
	<1	1,7
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 3.10.1. a.)	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	<1	3,5
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular. (Figura 3.10.1. a.) para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5

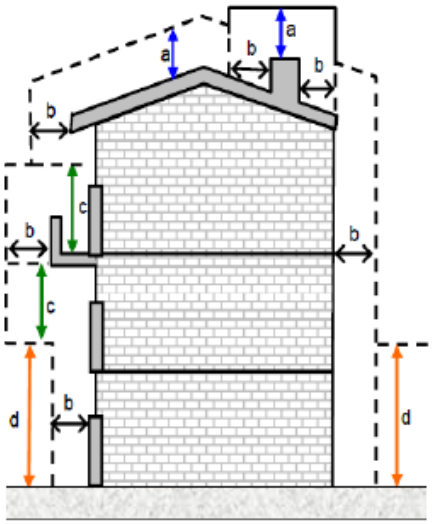


Figura 3.10.1. a. Distancias de seguridad en zonas con construcciones.

Fuente: Adaptada de la Resolución 90708 de 2013.

u.1) Distancias de seguridad en tableros de distribución

La instalación de los tableros de distribución en cada uno de los espacios destinados para tan fin deberá cumplir las distancias definidas por el RETIE en cuando a espacio libre en los costados, parte inferior y frente del tablero.

De acuerdo con lo estipulado en la tabla 110.26.a) Espacios de trabajo de la NTC 2050, la distancia de trabajo para los tableros de distribución es de 0.9 metros.

Tabla 110.26(A)(1) Espacios de trabajo

Tensión nominal a tierra (V)	Distancia libre mínima (m)		
	Condición 1	Condición 2	Condición 3
0 - 150	0,9 m	0,9 m	0,9 m
151 - 600	0,9 m	1,0 m	1,2 m
601 - 1 000	0,9 m	1,2 m	1,5 m

v) Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

No se realizaron desviaciones técnicas de las normativas vigentes.

w) Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

Se presenta en este capítulo el tipo de medida y la respectiva selección de los elementos que la comprenden. En este caso, se tendrá una medida semidirecta y por ende se presenta a continuación la selección de los transformadores de corriente:

CHEC **Cálculos de medida** **(Selección tipo punto de medición)** **FO-DI-11-000-004 V 5.0 (Hoja 2 de 6)**		
Documento asociado al cálculo del tipo de punto de medición del sistema de medida y la clase requerida para Transformadores de medida y medidores, de acuerdo con los criterios establecidos en artículos 6 y 9 de la Resolución CREG 038 de 2014		
Ingreso de datos básicos		
Potencia del transformador (kVA) y/o carga instalada	75	
Tensión primaria nominal del transformador de potencia/Distribución (kV)	13,2	
Tensión secundario nominal transformador de potencia/Distribución (kV)	0,208	
Tipo transformador	Trifásico	
Clasificación Tipo punto de medición		
Tipo de puntos de medición	**Consumo o transferencia de energía, C, [MWh-mes]**	**Capacidad Instalada, CI, [MVA]**
1	C ≥ 15.000	CI ≥ 30
2	15.000 > C ≥ 500	30 > CI ≥ 1
3	500 > C ≥ 50	1 > CI ≥ 0,1
4	50 > C ≥ 5	0,1 > CI ≥ 0,01
5	C < 5	CI < 0,01
Indice de clase y clase de exactitud requerida para medidores y transformadores de medida		
Tipo de punto de medición	4	
Índice de clase para medidores de energía activa	1	
Índice de clase para medidores de energía reactiva	2	
Clase de exactitud mínima para transformadores de corriente	0,5	
Clase de exactitud mínima para transformadores de tensión	0,5	

CHEC
Cálculos de medida Fronteras
(Selección relación TC´s Transformador trifásico)
FO-DI-11-000-004 V 5.0 (Hoja 3 de 6)

Documento usado para determinar la relación de transformación de los TC´s para servicios trifásicos trifilares o tetrafilares, según criterios de la NTC 5019

Ingreso de datos básicos

S	CAPACIDAD INSTALADA	kVA	75
V	TENSION	kV	0,208
% Carga	CARGABILIDAD SISTEMA (%)	%	73,41%
Ipc	CORRIENTE A PLENA CARGA	A	**152,82**

Cuadro comparativo según criterio de selección de relación de TC

	Descripcion	Unidades	CORRIENTE	POTENCIA	CARGABILIDAD
0,8*Ipn	80% CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL DEL CT	A	120	43	58%
Ipn	CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL DEL CT	A	150	54	72%
1,2*Ipn	120% CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL DEL CT	A	180	65	86%

Validación cumplimiento selección relación de TC, según Ipn seleccionada

Clase normal	CUMPLE?
Cumple que Ipc ≥ 80%Ipn	SI
Cumple que Ipc≤ 120%Ipn	SI

$$0{,}8\,I_{pn} \le I_{pc} \le I_{pn} \times FC$$

en donde

I_{pc} = es la corriente a plena carga (véase el numeral 4.1.8) del sistema eléctrico en el punto donde será conectado el transformador de corriente.

I_{pn} = es la corriente primaria nominal del transformador de corriente seleccionado.

FC = es el factor de cargabilidad del t.c. (véase el numeral 4.4.6)

Nota: Para fines de este ejercicio el factor FC se toma como 120%

CHEC
Cálculos de medida
(Regulación y Burden del lazo de corriente)
FO-DI-11-000-004 V 5.0 (Hoja 6 de 6)

Parámetros de Entrada

Descripción		Valor
Número de TCs del Sistema de Medida		3
Temperatura de Operación (ºC)		25
Cantidad de tramos de cable del lazo de corriente		1
Material de los conductores		CU
Burden nominal de TC's (VA)		5
Clase de exactitud de los TC`s		0.5S
Corriente secundaria nominal de los TC`s (A)		5
VA mínimo al cual fueron calibrados los TC`s (VA)		1,25
Bornera secundaria del TC		
Tiene Carga de Compensación		NO
Valor Carga de Compensación (Ohm)		
Longitud del cable de Bornes a Carga de compensación (m)		
Calibre Cable (AWG)		
Tramo 1 del lazo de corriente		
Longitud del cable a carga tramo 1 (m)		5
Calibre Cable (AWG)		12
Número de hilos en el tramo		2
Carga en el tramo 1 Cantidad/Tipo	1	ISKRA MT880

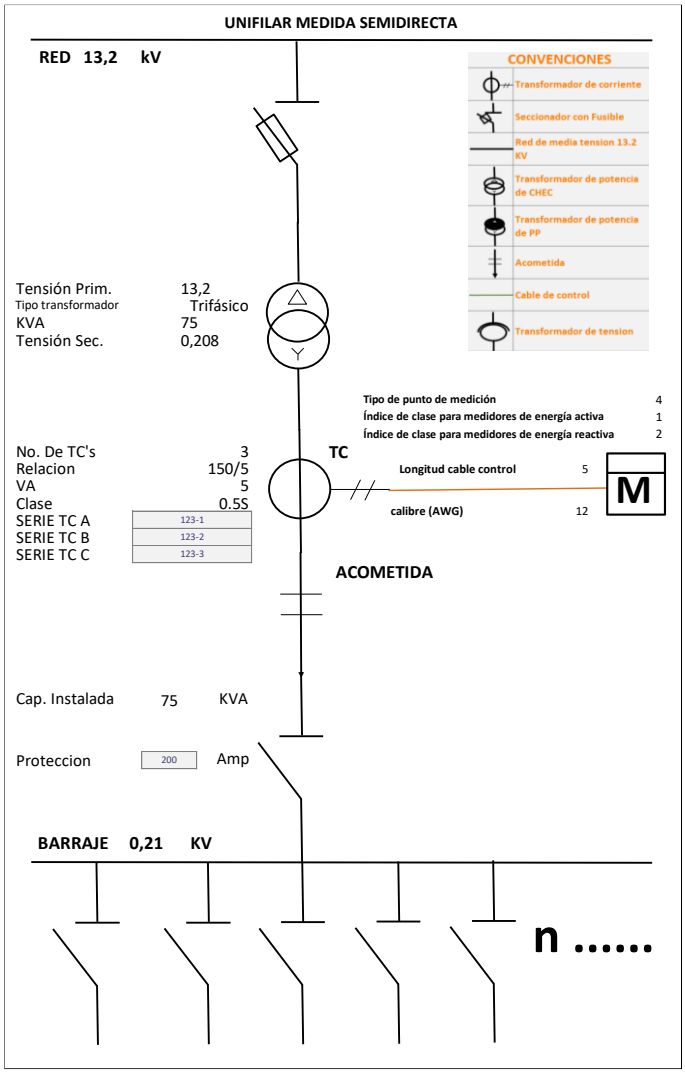
Resultados

Descripción	Módulo	Comentario
Resistencia Equivalente (Ohm)	0,080	
Potencia total consumida por los equipos (VA) / % VA nominal	0,658	13,16%
Potencia total consumida por los cables (VA) / % VA nominal	1,331	26,62%
Potencia en Bornes al 100% de la In (VA) / % VA nominal	**1,989**	**39,78%**
Burden (VA) mínimo a compensar		Cumple
Burden (Ohm) mínimo a compensar		

Compensación para alcanzar Cargabilidad Burden entre 25% y 100%			
Ohm a compensar para alcanzar 30 % de los VA		VA mínimo	
Ohm a compensar para el 100 % de los VA		VA máximo	

OBSERVACIONES

- Los cálculos de resistencia a compensar se toman con corrientes al 100 % de la corriente nominal
- Los valores de carga de los medidores y equipos se toman de información recolectada por CHEC
- Los valores minimos de cargabilidad para alcanzar el 25% se suponen al 30% para alcanzar una cierta holgura.
- Los valores minimos de compensación en VA y Ohm, se calculan de acuerdo a los VA mínimos a los cuales fueron calibrados los TCs.



x) Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales.

No aplica.

JUAN FELIPE GARCÍA FRANCO
Ingeniero Electricista
M.P. CL 205-128247
Cel.: 3136999606

Referencias técnicas

[1] IEEE P519.1, “Guide for Applying Harmonic Limits on Power System” IEEE vol 12, 2012.

[2] ICONTEC, “Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (RAYOS). Parte 1: Principios generales, “NTC 4552-1. Vol. Primera Ac, no. 571, p. 45, 2008”.

[3] IEEE, IEEE 242 Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and commercial Power System, vol. 3, no 2. 2001.

Código Eléctrico Colombiano – NTC 2050 Segunda Actualización.
Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE 2024
Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público– RETILAP 2024
NFPA 70: National Electrical Code – NEC 2017
IEEE Std C37. 104TM – 2002
Norma IEEE 80 – 2013
Norma para construcción de redes de distribución – CHEC S.A E.S.P
Norma IEC 60364 – Diseño de Instalaciones Eléctricas