



**Diseño de instalación eléctrica en los galpones de la granja porcícola Quirimara en Ebéjico
Antioquia**

Rosemberg Tinoco Rangel

Informe de practica para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesor

Claudia Patricia Acevedo Yepes, Ingeniera Electricista

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita	(Tinoco Rangel, 2023)
Referencia	Tinoco Rangel, R. (2023). <i>Diseño de la instalación eléctrica de los galpones de la graja porcícola Quirimara en Ebéjico Antioquia</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Créditos:

Empresa Antioqueña de Porcinos SAS

Ingeniero Electricista de Antioqueña de Porcinos SAS: Daniel de Jesús Salazar Salazar

Docente de la Universidad de Antioquia: Claudia Patricia Acevedo Yepes



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
1 Objetivos	18
1.1 Objetivo general	18
1.2 Objetivos específicos	18
2 Marco teórico	19
Instalación Eléctrica	19
Diseño Detallado	19
Diseño Simplificado	19
Simbología Reglamentaria	20
Circuitos ramales	21
Acometida	21
Conductores	22
Calibre de los conductores	22
Aislamiento de los conductores	22
Código de colores	22
Factor de Corrección por Agrupamiento	23
Puesta a Tierra	23
Apantallamiento	23
Instalaciones Especiales	24
Análisis de Riesgo por Descargas Atmosféricas.	24
Medidor de Energía Eléctrica	24
Cargas Eléctricas y su Ubicación	25

Distribución de tomacorrientes	25
Distribución del alumbrado	25
Carga Permitida	25
Tableros Eléctricos	26
Transformador	26
Protecciones	26
Riesgo Eléctrico	26
Análisis de Riesgo Eléctrico	27
Descarga atmosférica	27
Evaluación del Nivel de Riesgo por Rayos	27
Reglas de Oro	27
Instalaciones Porcinas	28
Ceba Porcina	28
3 Metodología	29
Actividad 1	29
Actividad 2	29
Actividad 3	29
Actividad 4	29
Actividad 5.	30
4 Resultados y Análisis	31
Descripción del Proyecto	31
Localización	31
Características de la carga	31
Cargas de alumbrado.	31
Cargas de tableros de trabajo	31

Otras cargas.	32
Factor de demanda.	32
Cálculo de los conductores de los alimentadores y circuitos ramales por capacidad de corriente.	32
Diseño Detallado.	33
Análisis y cuadros de cargas iniciales	33
Análisis de coordinación de aislamiento.	35
Análisis de cortocircuito y falla a tierra.	35
Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.	36
Nivel Ceraunico (NC)	36
Densidad de descargas a tierra (DDT). Es el número de rayos que caen a tierra por kilómetro cuadrado en un año, este depende del nivel ceraunico de la zona.	37
Promedio anual de descargas Atmosféricas	38
Promedio anual de descargas en la estructura (Nd). Es el promedio de impactos de descarga que pueden caer en la estructura	38
Promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia (Nda1). Se define como el promedio por año en que la subestación que alimenta los galpones recibe una descarga atmosférica.	38
Promedio anual de descargas en la estructura (NM). Es el promedio de impactos de descarga que pueden caer cerca de la estructura. El área de influencia de la estructura Am está definida entre la frontera de la estructura y una línea localizada a 250 m del perímetro de la estructura (NTC 4552-2, 2008, página 29)	39
Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia (NL1). Esta es la posibilidad de que un rayo impacte la acometida que alimenta el galpón	39
Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia (Ni1). Esta es la posibilidad de que un rayo impacte la acometida que alimenta el galpón	40
Pérdidas de vidas humanas L1.	42
Pérdida de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (LA). Este está relacionado con las tensiones de paso o de contacto en el área circundante de la estructura	42

Pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura (LB1)	43
Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (LU). Este está relacionado con las tensiones de contacto en el área interna de la estructura	44
Pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometidas de servicios (LV).	44
Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura (LC1).	45
Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (LM1).	45
Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (LW1).	45
Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (LZ1).	45
Perdidas inaceptables del servicio publico L2	45
Pérdida inaceptable del servicio público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura (LB2).	46
Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios (LV2)	46
Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura (LC2).	46
Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (LM2).	46
Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (LW2).	47
Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (LZ2).	47
Componentes del riesgo	47
Descarga sobre la estructura S1	47
Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D1 (con las pérdidas de vidas humanas) (RA).	47

Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D2 (con Lb para pérdidas de vidas humanas) (RB1).	48
Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D2 (con Lb para pérdidas de vidas humanas) (RB2).	48
Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con Lc para pérdidas inaceptables del servicio público) (RC1).	48
Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con Lc para pérdidas inaceptables del servicio público) (RC2)	48
Descargas sobre la estructura	48
Descarga sobre la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm para pérdidas de vidas humanas) (RM1)	49
Descarga sobre la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm para pérdidas de vidas humanas) (RM2)	49
Descargas sobre acometidas de servicios	49
Descarga sobre la estructura S3 con respecto al daño D1- Potencia (RU1)	49
Descarga sobre la estructura S3 con respecto al daño D1- Potencia (RU2).	50
Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lw1 para pérdidas de vidas humanas) (RW1).	50
Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lw2 para pérdidas inaceptable del servicio público) (RW2).	51
Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4.	51
Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lz1 para pérdidas de vidas humanas (RZ1).	51
Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lz2 para pérdidas de inaceptables del servicio (RZ2).	52
Riesgos.	53
Riesgo de pérdidas de vidas humanas (R1).	53
Riesgo de pérdidas de pérdidas de servicio (R2).	53
Riesgo de pérdidas de valor económico. Este riesgo se calcula de la siguiente manera:	54

Comparación de resultados.	54
Medidas recomendadas	54
Resultados finales del Riesgo.	55
Riesgo de pérdidas de vidas humanas (R1).	55
Riesgo de pérdidas de pérdidas de servicio (R2).	55
Riesgo de pérdidas de valor económico. Este riesgo se calcula de la siguiente manera:	56
Análisis de nivel de riesgo por origen eléctrico	56
Análisis del nivel de tensión requerido.	67
Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas no superen los límites de exposición definidos en la tabla 14.1.	67
Cálculo de transformador incluyendo los efectos de los armónicos y el factor de potencia en la carga.	68
Cálculo del sistema puesta a tierra.	68
Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de perdidas, las cargas resultantes y los costos de energía.	69
Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.	71
Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. en baja tensión se permite la coordinación de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 anexo A	71
Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).	74
Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.	76
Cálculo de regulación.	77
Clasificación de áreas.	81
Materiales.	81
Elaboración de diagramas unifilares.	81
Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.	83

Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.	84
Establecer distancias de seguridad.	84
Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.	84
Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.	84
Diseño de iluminación en los galpones de acuerdo con el RETILAP	85
Módulos.	85
Tipo de Luminaria.	86
Informe de iluminación.	87
Pasillo.	88
Tipo de Luminaria.	88
Informe de iluminación.	89
Presupuesto	90
5 Conclusiones	93
Referencias	94

Lista de tablas

Tabla 1	Cargas en los alimentadores principales de cada galpón	32
Tabla 2	Resultados de calibres de los alimentadores de los tableros de cada módulo del galpón	33
Tabla 3	Cuadro de toda la carga instalada en los galpones.	34
Tabla 4	Localización de la estructura.	38
Tabla 5	Tipo de transformador utilizado.	39
Tabla 6	Ambiente alrededor de la acometida.	40
Tabla 7	Medidas tomadas con respecto a tensión de paso y toque.	40
Tabla 8	Nivel de protección de la estructura.	41
Tabla 9	Sistemas de protección interno adoptado.	41
Tabla 10	Valores de probabilidad de daño PLD en sistemas internos en función de la resistencia del apantallamiento R_s y la tensión soportable U_w del cable.	41
Tabla 11	Valores PMS en función de KMS.	42
Tabla 12	Ambiente alrededor de la acometida.	42
Tabla 13	Valores promedios típicos de L_t , L_f y L_o .	43
Tabla 14	Medidas de protección por fuego.	43
Tabla 15	Riesgo de explosión.	44
Tabla 16	Situación especial de peligro.	44
Tabla 17	Tipo de servicio.	46
Tabla 18	Resultado de evaluación de los componentes de riesgo.	54
Tabla 19	Resultado de evaluación de los componentes de riesgo corregidos.	56
Tabla 20	Tabla de factores de riesgo, posibles causas y medidas de protección.	57
Tabla 21	Factores de riesgo, electrocución y medidas para mitigarlo.	59
Tabla 22	Transformadores para cada galpón de la granja	68
Tabla 23	Datos de entrada	71

Tabla 24 Resultado de los conductores.	71
Tabla 25 Área de conductores THHN/THWN-2.	74
Tabla 26 Secciones transversales de Tuberías EMT.	75
Tabla 27 Tabla de resultados de tuberías EMT en los alimentadores que van desde el tablero principal hasta los tableros de distribución de cada módulo.	75
Tabla 28 Tabla de resultados de tuberías EMT en los alimentadores que van desde el tablero principal hasta los tableros de distribución de cada módulo.	76
Tabla 29 Paso 1 Calculo de las pérdidas del conductor.	76
Tabla 30 Paso 2 Calculo del Factor de perdidas.	76
Tabla 31 Paso 3 Resultados de pérdidas de energías anuales para el Galpón 1	77
Tabla 32 Paso 3 Resultados de pérdidas de energías anuales para el Galpón 2 y 3.	77
Tabla 33 Resultados de regulación de los circuitos alimentadores.	79
Tabla 34 Regulación de los circuitos ramales de cada tablero.	79
Tabla 35 Calibres de los conductores de los circuitos ramales [AWG].	80
Tabla 36 Regulación final de los circuitos ramales y alimentadores de cada tablero	80
Tabla 37 Presupuesto de obra de la instalación eléctrica	90

Lista de figuras

Figura 1 Simbología Reglamentaria.	21
Figura 2 Código de colores para conductores en corriente alterna.	23
Figura 3 Factor de demanda instalaciones agrícolas.	32
Figura 4 Valores nominales de corrientes.	33
Figura 5 Cuadro de cargas de los módulos del Galpón 1, 2 y 3.	34
Figura 6 Diagrama unifilar de la instalación del galpón 1 en MELSHORT2.	35
Figura 7 Corriente de cortocircuito dada por el software de MELSHORT2.	36
Figura 8 Mapa de ISO-Niveles ceraunicos para Colombia (Área de 30 km x 30 km).	37
Figura 9 Componentes del riesgo en estructuras.	47
Figura 10 Componentes de riesgo para cada tipo de estructura.	53
Figura 11 Ejemplo cuadro de análisis de riesgo eléctrico.	60
Figura 12 Clasificación de nivel de riesgo.	61
Figura 13 Análisis de riesgo para quemadoras por arco eléctrico en la apertura de seccionadores con carga.	62
Figura 14 Análisis de riesgo para perdida de producción debido a la ausencia de electricidad por sobrecarga o cortocircuito en la instalación.	63
Figura 15 Análisis de riesgo por electrocución por contacto directo en el montaje de transformador de distribución.	64
Figura 16 Análisis de riesgo por electrización por contacto directo a equipos y partes metálicas de la instalación.	65
Figura 17 Análisis de riesgo por electrización por cortocircuito debido a la impericia de los técnicos.	66
Figura 18 Análisis de riesgo por electrización por equipos defectuosos.	67
Figura 19 Resistencias y reactancias de conductores.	69

Figura 20 Curvas correspondientes a corriente de arranque del motor, relé térmico, interruptores termomagnéticos del motor y del alimentador del módulo correspondiente, dadas por el software MELSHORT2.	71
Figura 21 Curvas de los interruptores termomagnéticos del motor, iluminación y tomas de servicio con respecto al alimentador del módulo correspondiente.	73
Figura 22 Porcentaje de ocupación de tubos conduit.	75
Figura 23 Factores de corrección por temperatura	78
Figura 24 Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente por una canalización.	78
Figura 25 Diagrama unifilar galpón 1.	82
Figura 26 Diagrama unifilar galpones 2 y 3.	82
Figura 27 Esquema eléctrico del módulo 1 del galpón 1.	83
Figura 28 Esquema eléctrico del galpón 1.	83
Figura 29 Cuadro de convenciones.	84
Figura 30 Vista principal galpón en DIALux evo.	85
Figura 31 Vista de un módulo del galpón en DIALux evo.	85
Figura 32 Iluminación módulos del galpón en DIALux evo.	86
Figura 33 Características dadas por el fabricante para luminaria high bay.	86
Figura 34 Flujo luminoso en los módulos con DIALux evo.	87
Figura 35 Zoom flujo luminoso en los módulos con DIALux evo.	87
Figura 36 Posición de cada luminaria en los módulos con DIALux evo.	87
Figura 37 Pasillo iluminado con DIALux evo.	88
Figura 38 Características dada por el fabricante para luminaria hermética.	89
Figura 39 Simulación en pasillo con DIALux evo.	89
Figura 40 Zoom en simulación en pasillos con DIALux evo.	90
Figura 41 Posición de cada luminaria en el pasillo con DIALux evo.	90

Siglas, acrónimos y abreviaturas

RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
RETILAP	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
NTC	Normas Técnicas Colombianas
A	Amperios
V	Voltios
VA	Voltamperios
W	Watts
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
FP	Factor de Potencia
EMT	Tubo Eléctrico Metálico
AWG	American Wire Gauge

Resumen

La empresa se encuentra en un proceso de ampliación de su capacidad de producción, para ello, está ejecutando la construcción de nuevos galpones para la ceba de porcinos en una granja porcícola de su propiedad. Los nuevos galpones tendrán la capacidad para alojar 50 mil cerdos para el consumo a nivel nacional. La granja se llama Quirimara, esta se ubica en el corregimiento de Sevilla, que hace parte del municipio de Ebéjico Antioquia. En la granja Quirimara los nuevos galpones requieren una instalación eléctrica idónea para su uso. En este proyecto se va a realizar los diseños de las instalaciones eléctricas de los galpones nuevos de la granja, este diseño consta de la siguiente información necesaria: estudio de los galpones porcinos, diagramas eléctricos de las instalaciones, cuadro de cargas general, adecuación de la iluminación, presupuesto de la instalación. Todo esto se hará de acuerdo con lo establecido en la norma técnica colombiana (NTC) 2050, la NTC 4552-2, el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP) con el fin de que las nuevas instalaciones cumplan con todos los criterios de seguridad y protección de la vida de los trabajadores y animales de la granja.

Palabras clave: Galpón, módulos, corriente de cortocircuito, cargas, riesgo, conductores, protecciones, calibre.

Abstract

The company is in the process of expanding its production capacity and is building new pig fattening sheds at a pig farm it owns. The new sheds will have the capacity to house 50,000 pigs for domestic consumption. The farm is called Quirimara and is located in the village of Sevilla, which is part of the municipality of Ebéjico Antioquia. In the Quirimara farm the new sheds require a suitable electrical installation for its use. In this project the designs of the electrical installations of the new barns of the farm will be made, this design consists of the following necessary information: study of the pig barns, electrical diagrams of the installations, general load chart, adequacy of lighting, installation budget. All of this will be done in accordance with the Colombian technical standard (NTC) 2050, NTC 4552-2, the technical regulations for electrical installations (RETIE) and the technical regulations for lighting and public lighting (RETILAP) so that the new installations comply with all the safety and life protection criteria for workers and animals on the farm.

Keywords: Shed, modules, short-circuit current, loads, risk, conductors, protections, gauge.

Introducción

La energía eléctrica es fundamental en todos los procesos y avances de la humanidad, procesos que gracias a la energía eléctrica pueden facilitar los trabajos en las industrias donde se hacen trabajos muy exigentes y que requieren gran esfuerzo, por ejemplo, alimentan motores de las bandas transportadoras, alimentan motores que mueven grandes masas de alimentos en las granjas, etc. Trabajos que son muy difícil de hacer físicamente por una o varias personas. Por lo tanto, la energía eléctrica ha sido de gran importancia en el desarrollo de la humanidad.

La energía eléctrica antes de ser utilizada por el usuario final pasa por una serie de etapas, su primera etapa inicial es la generación, en esta etapa la energía eléctrica es obtenida por medio de los generadores de la central. Después la energía tiene que ser transportada, en esta otra etapa se utilizan los sistemas de transmisión nacional, regional y sistemas de distribución local para el transporte de la energía eléctrica por todo el país. Por último, está la etapa del usuario final, en esta etapa el usuario final tiene la energía eléctrica a su disposición para darle su uso correspondiente. El usuario final necesita de una buena instalación para poder utilizar la energía eléctrica de manera correcta, eficiente y sin ningún tipo de riesgos. En esta etapa de usuario final es donde se presentan una mayor cantidad de imprudencias debido a que los diseños no se elaboran de manera correcta, resultando así instalaciones inseguras que ponen en peligro el bien material y la vida misma de los seres que están dentro de la instalación. Por esta razón en este proyecto se hace un diseño de una instalación eléctrica en los galpones de la granja, donde se requiere un gran cuidado debido a la cantidad de seres vivos que estarán bajo el uso de la instalación eléctrica. El diseño de la instalación se hizo siguiendo todos los requerimientos que exigen los reglamentos y normas para el correcto diseño de una instalación eléctrica, el cual garantiza una instalación segura y apta para el cuidado de los seres vivos que dispondrán de la instalación y también garantizar el cuidado del patrimonio de la empresa.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Elaborar el diseño de la instalación eléctrica de uso final para los galpones de la granja, cumpliendo los reglamentos RETIE, RETILAP, las normas NTC 2050 y la NTC 4552-1

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar cálculos, planos y diseños necesarios según la NTC 2050 y el RETIE considerando la capacidad instalada de cada instalación.
- Diseño de la iluminación en los galpones de acuerdo con el RETILAP.
- Desarrollar el presupuesto del proyecto de acuerdo con el diseño eléctrico.
- Análisis de riesgo por descargas atmosféricas.

2 Marco teórico

Instalación Eléctrica

Está conformada por uno o varios circuitos eléctricos con elementos eléctricos, electromecánicos y electrónicos formando circuitos en serie, paralelo y mixto; desde una pequeña hasta una industria muy grande con elementos de primera calidad como lo nombra el RETIE o la NTC 2050.

Diseño Detallado

Un diseño detallado es un trabajo realizado por personal calificado o profesional en ingeniería según el trabajo que va desarrollar, en este caso como es un diseño eléctrico debe ser un profesional cuyas características se adecuen a las establecidas por a las leyes 51 de 1986 842 del 2003. La persona encargada del diseño debe cumplir los requerimientos especificados por las normas vigentes y los derechos de autor y la propiedad intelectual de los diseños.

Para los diseños eléctricos se debe cumplir o aplicar los siguientes ítems (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 49).

- Cuadro de cargas
- Diagrama unifilar
- Dibujo de planos
- Diseño de iluminación
- Cálculos de puesta a tierra
- Cálculos de corto circuito
- Cálculos de regulación
- Cálculos de transformador a utilizar
- Estudio de riesgos eléctricos y medidas de mitigación.

Diseño Simplificado

Un diseño simplificado debe realizarlo un profesional calificado o certificado en la competencia eléctrica en instalaciones unifamiliares pequeñas empresas o industrias, la capacidad en VA debe estar entre 7KVA a 15KVA con tensión nominal de 240 voltios

- Estudio de peligros de iniciación o riesgo para las personas
- Diseño de puesta a tierra
- Diseño de iluminación
- Cálculos de protecciones eléctricas
- Cálculos de canalizaciones
- Cálculos de regulación
- Diseño de diagramas unifilares y trefilares
- Diseño de áreas de escape y seguridad de las personas
- En redes aéreas campestres de hasta 50 kVA y 13,2 kV, por ser de menor complejidad. El diseño simplificado debe instaurar en especificaciones predefinidas por la empresa prestadora del servicio de red y cumplir lo siguiente:
 - Análisis de riesgos contra sobre tensiones
 - Diseño de puesta a tierra
 - Análisis de corto circuito
 - Diseño de iluminación tipo publico
 - Diseño detallado de la zona
 - Estudio de distancia de seguridad
 - Cálculos de líneas de distribución

El diseño simplificado debe ser suscrito por el profesional competente responsable de la construcción de la instalación eléctrica o quien la supervise, con su nombre, apellidos, número de cédula de ciudadanía y número de la matrícula profesional de conformidad con la ley que regula el ejercicio de la profesión. Dicho diseño debe ser entregado al propietario de la instalación (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 50).

Simbología Reglamentaria

En el Ministerio de Minas y Energía (2015) se define estos símbolos para el diseño de los planos de una instalación eléctrica, los podemos ver en la Figura 1 (tabla 6.1 del artículo 6 del RETIE) del reglamento técnico de instalaciones eléctricas, o norma. IEC 60617, ANSI Y32, CSA Z99 e IEEE 315.

Figura 1
Simbología Reglamentaria

Interruptor bipolar	Interruptor con luz piloto	Interruptor unipolar con tiempo de cierre	Interruptor diferencial	Interruptor unipolar de dos vías	Interruptor seccionador para AT
Interruptor termomagnético	Lámpara	Masa	Parada de emergencia	Seccionador	Subestación
Tablero general	Tablero de distribución	Tierra	Tierra de protección	Tierra aislada	Tomacorriente, símbolo general
Tomacorriente en el piso	Tomacorriente monofásico	Tomacorriente trifásico	Transformador símbolo general	Transformador de aislamiento	Transformador de seguridad

Nota. Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 35).

Circuitos ramales

Circuito ramal que alimenta diversas salidas para alumbrado y artefactos (Norma Técnica Colombiana [NTC] 2050, 2019, pág. 8).

Acometida

Derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. En aquellos casos en que el dispositivo de corte esté aguas arriba del medidor, para los efectos del presente reglamento, se entenderá la acometida como el conjunto de conductores y accesorios entre el punto de conexión eléctrico al sistema de uso general (STN, STR o SDL) y los bornes de salida del equipo de medición (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 17).

Conductores

Es un elemento construido por un material conductor por el cual se transporta la energía eléctrica. De acuerdo a sus características de construcción esta clasificado por su calibre (sección transversal), por su capacidad de conducir corriente, por la temperatura, nivel de tensión, etc. En el artículo 110-5 de la norma NTC 2050 (2019) indica que se debe utilizar conductores de cobre y también se pueden utilizar alguno de aluminio.

Calibre de los conductores

El calibre de los conductores se encuentra normalizados según artículo 110-6 de la norma NTC 2050 (2019), su sección transversal se da en milímetros cuadrados, seguido por su equivalente en AWG (American Wire Gage) o en (kcmil) mils de circunferencia.

Aislamiento de los conductores

Según el artículo 110-7 de la NTC 2050 (2019) todos los conductores eléctricos deberán quedar instalados de manera que el sistema completo esté libre de cortocircuitos y de contactos a tierra distintos de los necesarios o permitidos en la sección 250. En la tabla 310-13 de la NTC 2050 se clasifica el aislamiento de acuerdo con la aplicación prevista.

Código de colores

Según el Ministerio de minas y Energía (2015) se debe cumplir el código de colores para conductores aislados de potencia para evitar accidentes por una mala interpretación del nivel de tensión y tipo de sistema utilizado.

Figura 2*Código de colores para conductores en corriente alterna*

Sistema c.a.	1Φ	1Φ	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ-	3ΦY	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ	3ΦY
Tensión nominal (voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/277	480 - 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
Conductor activo	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
Fase	Color fase o negro	Color fases o 1 Negro	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo Violeta Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o Gris	No aplica	No aplica	No Aplica
Tierra de protección	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No Aplica
Tierra aislada	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica

Nota. Fuente: (Ministerio de minas y Energía, 2015, pág. 38).

Factor de Corrección por Agrupamiento

Este factor de debe tener en cuenta en la agrupación de conductores, cuando se instalen los conductores en encerramientos o canalizaciones metálicas conductores de corriente alterna, deben instalarse de modo que se evite el calentamiento del ducto por inducción. Para ello, se deben agrupar todos los conductores de fase, el conductor puesto a tierra, y todos los conductores de puesta a tierra de los equipos (NTC, 2019, pág. 142).

Puesta a Tierra

La puesta tierra está constituida por uno o varios de electrodos de cobre o con aleaciones con el cobre enterradas en el suelo dependiendo de su configuración y la resistividad del terreno, para brindar la seguridad a las personas durante una falla, evitando que estén sometidas a tensiones de paso, contacto o transferidas que puedan superar los umbrales de soportabilidad del ser humano. La puesta a tierra también debe tener la capacidad de despejar una falla por descargas atmosféricas con el fin de disiparla lo más rápido posible y evitar riesgos potenciales para la vida y para los dispositivos eléctricos que conforman la instalación eléctrica. En el artículo 15 del RETIE (2015) se especifican los requisitos, diseño y materiales que conforman una puesta a tierra.

Apantallamiento

Según la norma NTC 4552-2 (2008) el apantallamiento es un conjunto de elementos metálicos que encierran el objeto a proteger, o parte de éste, para reducir fallas en sistemas eléctricos y electrónicos.

Instalaciones Especiales

Son aquellas instalaciones que por estar localizadas en ambientes clasificados como peligrosos o por alimentar equipos o sistemas complejos, presentan mayor probabilidad de riesgo que una instalación básica y, por tanto, requieren de medidas especiales, para mitigar o eliminar tales riesgos (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 169).

Las instalaciones especiales deben cumplir los requisitos establecidos tanto en el RETIE como en la NTC 2050. Según la sección 500 (Lugares peligrosos) esta la sección 500-5 (Clasificación por grupos de las atmósferas de Clase I), en el literal (d) nos dice que: “En atmósferas que contengan amoníaco se permite que la autoridad competente para hacer cumplir este Código reclasifique el lugar como menos riesgoso o como lugar no peligroso” (NTC, 2019, pág. 434).

Análisis de Riesgo por Descargas Atmosféricas.

Las descargas atmosféricas son uno de los fenómenos más destructivos de la naturaleza que suponen un grave peligro para las personas, animales, edificios y equipos, produciendo severas consecuencias que van desde pérdidas económicas hasta pérdidas de la vida humana.

Según la norma NTC 4552-2 (2008), el riesgo se define como el procedimiento anual probable de pérdidas en la estructura y en sus acometidas de servicios debido a descargas atmosféricas, el cual depende de:

- El número anual de rayos que afecta a las estructuras y a su acometida de servicio.
- La probabilidad de daño debido a los efectos del rayo.
- El costo promedio de los daños.

Medidor de Energía Eléctrica

Un medidor de energía eléctrica es un dispositivo digital que proporciona información en tiempo real de la cantidad de energía que está utilizando una instalación doméstica. Gracias a este aparato se puede llevar un control preciso y detallado del consumo diario, semanal, mensual o

anual. Su objetivo es servir para motorizar el gasto y ayudar a los usuarios a adaptar sus hábitos para reducir el consumo energético y, por lo tanto, pagar mucho menos en la factura de la luz (EFC SOLAR, 2022).

Cargas Eléctricas y su Ubicación

Distribución de tomacorrientes

El tomacorriente de cordón colgante, este se debe instalar una salida de tomacorriente siempre que se utilicen cordones flexibles con clavija de conexión. Cuando se permita que los cordones flexibles estén conectados permanentemente, se pueden suprimir los tomacorrientes para dichos cordones (NTC 2050, 2019, pág.41).

Distribución del alumbrado

Toda distribución de alumbrado debe llevar estudio de área para efectos de potencia y luminiscencia en el área y que no afecte la salud de las personas. Tanto el diseñador como el constructor de la instalación eléctrica deben garantizar el suministro de la energía para las fuentes de iluminación y sus respectivos controles, conforme a las necesidades de iluminación resultantes del cumplimiento del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP. (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 78).

Se deben tener en cuentas las siguientes características:

- Cálculos de Iluminación
- Cantidad de lúmenes
- Color indicado para la eficiencia lumínica
- Vida útil de la luminaria
- Costos de compras
- Determinación y uso racional de la energía lumínica

Carga Permitida

Según el artículo 210-23 de la NTC 2050 (2019) nos dice que la carga no debe exceder la corriente nominal en el circuito ramal. También nos informa que cargas deben alimentar de acuerdo a la corriente nominal del ramal.

Tableros Eléctricos

Los productos llamados tableros, cuadros, gabinetes, paneles, o celdas, se denominarán tableros cuando sean de baja tensión y celdas cuando sean de media tensión. Se considera tablero principal, si contiene la protección principal y el puente equipotencial principal (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 127).

Transformador

Es un elemento eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en sus bornes (primarios y secundarios), por la conservación de la energía, la potencia que ingresa al transformador, en el caso de un transformador ideal, es igual a la potencia que se obtiene en los bornes de salida.

En el artículo 20.25 del RETIE (2015) nos dan los requisitos del transformador y los requisitos de su instalación, al igual que en la sección 250 de la NTC 2050 (2019) nos informa sobre la instalación del transformador.

Protecciones

Todas las instalaciones para uso final de la electricidad deben contar con elementos y medidas de protección para impedir los efectos de las sobrecorrientes y sobretensiones, resguardar a los usuarios de los contactos directos a partes energizadas y anular los efectos de los contactos indirectos. Igualmente, debe contar con las protecciones para evitar daños en la instalación o en el medio que la rodea (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 166).

Riesgo Eléctrico

Un riesgo es una condición ambiental o humana cuya presencia o modificación puede producir un accidente o una enfermedad ocupacional. Por regla general, todas las instalaciones eléctricas tienen implícito un riesgo y ante la imposibilidad de controlarlos todos en forma permanente, se seleccionaron algunos de los más comunes, que al no tenerlos presentes ocasionan la mayor cantidad de accidentes (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 46).

Análisis de Riesgo Eléctrico

Conjunto de técnicas para identificar, clasificar y evaluar los factores de riesgo. Es el estudio de consecuencias nocivas o perjudiciales, vinculadas a exposiciones reales o potenciales (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 18).

Descarga atmosférica

Es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de las nubes hacia la ionósfera (NTC 2050, 2019).

Evaluación del Nivel de Riesgo por Rayos

La evaluación del nivel de riesgo por rayos, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo para la zona tropical, donde está ubicada Colombia y las medidas de protección que mitiguen el riesgo; por tanto, debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2, de reconocimiento internacional o la NTC 4552-2 (Ministerio de Minas y Energía, 2015, pág. 74).

Reglas de Oro

Según el Ministerio de Minas y Energía (2015), los trabajos a realizarse en cualquier instalación eléctrica deben cumplir con las siguientes reglas:

- Efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión
- Condenación o bloqueo
- Verificar ausencia de tensión en cada una de las fases
- Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión que incidan en la zona de trabajo
- Señalizar y delimitar la zona de trabajo

Instalaciones Porcinas

La porqueriza se debe ubicar en terrenos ligeramente inclinados, de forma que ofrezca condiciones secas y esté protegida de las condiciones ambientales. Por consiguiente, la orientación de las instalaciones debe estar de oriente a occidente en climas cálidos, para lograr más sombra, y de sur a norte en climas fríos, para mayor luminosidad. Así se favorece un clima más confortable, manteniendo temperaturas óptimas de 15 a 21 °C y una humedad en el ambiente de 60 a 70 % (Corpoica-Pronatta, 2003).

Ceba Porcina

Según Corpoica-Pronatta (2003), se trata del engorde o finalización del proceso productivo de carne de ganado porcino en pie, que tiene un manejo muy similar a la etapa de levante y se inicia a partir de cerdos con peso de 60 kilos, que se alcanza a la edad de 16 semanas. De la misma manera, se registran nuevamente los pesos de los animales y se seleccionan para formar grupos homogéneos, que serán alojados en corrales limpios, disponiendo de un área por animal de 1,0 a 1,2 metros cuadrados.

3 Metodología

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos anteriormente, se deben determinar una serie de actividades en los cuales se va a guiar el proyecto, dichas actividades son las siguientes:

Actividad 1

Recolección de información: Aquí se deben identificar las áreas físicas teniendo en cuenta medidas de longitud de las dimensiones de los galpones. Sacar las mediciones de longitud de los puntos claves y áreas del plano arquitectónico dados. Obtener toda la información de todos los equipos a utilizar y su respectiva ubicación. Todo esto para tenerlos en cuenta en los diseños de iluminación y diseños de los planos eléctricos de los galpones.

Actividad 2

Aprobación de la propuesta técnica del diseño de las instalaciones eléctricas. En esta se evaluará la propuesta técnica para saber si cumple con todas las condiciones requeridas antes de su implementación.

Actividad 3

Se realizarán los cálculos de cuadro de cargas, protecciones, acometidas, regulación, etc. Necesarios para el diseño de la instalación eléctrica basados en el RETIE y la NTC 2050. Se utilizará programa de Excel para realizar los cuadros y cálculos del diseño. Con el software AutoCAD se realizarán los planos eléctricos. Y con el programa DIALux evo se realizará el cálculo de la luminosidad en los galpones.

Actividad 4

Recopilada toda la información necesaria de los cálculos, planos eléctricos, lista de materiales y conociendo el trabajo que se debe realizar en los galpones, se hará una proyección de precios según el mercado de cuánto puede llegar a costar la ejecución de la obra.

Actividad 5.

Entrega final del proyecto para su evaluación, de acuerdo al cronograma previamente establecido y cumpliendo con los objetivos establecidos.

4 Resultados y Análisis

Descripción del Proyecto

Localización

La granja porcina ubicada en el municipio de Ebéjico – Antioquia, tiene tres nuevos galpones con las siguientes dimensiones, el galpón 1 es de 30 m x 300 m y los galpones 2 y 3 de iguales dimensiones, 30 m x 170 m.

Características de la carga

Se determinan los diferentes tipos de cargas y sus respectivas potencias en KVA, para de esta forma estimar la carga total de la instalación, el factor de demanda y la carga total demandada.

Cargas de alumbrado. Se derivan del tablero de distribución correspondiente podrán ser combinadas con los cableados del sistema de alimentación de los tomacorrientes. Esta carga constituye una parte del requerimiento total de carga. La instalación cuenta con 4 salidas de iluminación por módulo, de lámparas High Bay de 150 W. La carga total de iluminación para el galpón 1 que tiene 5 módulos es de 3000 W. Para los galpones 2 y 3 compuestos de 3 módulos es de 1800 W. Para los pasillos se utilizarán lámparas lineales de 40W, en total para el galpón de 5 módulos son 20 lámparas, para un total de 800 W. Para los galpones 2 y 3 son 12 lámparas respectivamente, para un total de 480W.

Cargas de tableros de trabajo. Los tableros de trabajo están compuestos de dos salidas de tomacorrientes de 240 V y 120 V se calcula la carga de acuerdo a los dispositivos que se van a conectar en cada salida debido a que su potencia demanda es mayor a 180 VA.

La carga real conectada de los tableros de trabajo está conformada se calculó teniendo en cuenta la carga a conectar, en estos tomacorrientes a 240 V se conectarán grupos de soldadores eléctricos, según la (NTC 2050, 2019, página 712) se deben multiplicar por un factor de 0,55 la corriente nominal del tomacorriente y la corriente máxima demanda de 25 A sacada de los dispositivos (hidrolavadoras, equipos de soldadores, bombas estacionarias) que se conectaran a esta salida.

Para las salidas de tomas de 120 V una corriente máxima de 7 A, está la corriente demanda por equipos de taladros, pulidoras, etc.

Otras cargas. Para el galpón 1 tendrá 5 motores de 3Hp (2237 W) a un FP 0.85 la potencia aparente será de 13159 VA. Para los galpones 2 y 3 tendrán 3 motores de 3Hp con FP 0.85, la potencia aparente será de 7895 VA

Factor de demanda. Según la (NTC 2050, 2019, p.84) para instalaciones porcícolas se toma la tabla 220.103 que se utilizan en las instalaciones agrícolas.

Figura 3

Factor de demanda instalaciones agrícolas.

Cargas individuales calculadas según la Tabla 220-40	Factor de demanda (%)
Carga máxima	100
Segunda carga en magnitud	75
Tercera carga en magnitud	65
Restantes cargas	50

Nota. Fuente: (NTC, 2019, pág. 84).

Tabla 1

Cargas en los alimentadores principales de cada galpón

Descripción de Cargas	Carga Instalada [VA]			FD	Carga Alimentador [VA]		
	Galpón 1	Galpón 2	Galpón 3		Galpón1	Galpón 2	Galpón 3
Tomas 220	66000	39600	39600	100%	66000	39600	39600
Tomas 120	16800	10080	10080	75%	12600	7560	7560
Sistema de arrastre	13159	7985	7985	65%	8553,35	5190,25	5190,25
Iluminación modulo y pasillo	3800	2280	2280	50%	1900	1140	1140
Total	99759	59945	59945		89053,35	53490,25	53490,25

Cálculo de los conductores de los alimentadores y circuitos ramales por capacidad de corriente. Los galpones están distribuidos de la siguiente manera: Galpón 1 tiene 5 módulos (5 secciones de 60x30 metros) y los galpones 2 y 3 tienen 3 módulos (3 secciones de 60x30 metros). El tablero principal está ubicado aproximadamente en la mitad de cada galpón y los tableros de distribución de cada módulo estarán ubicados en la mitad de cada módulo.

Tabla 2*Resultados de calibres de los alimentadores de los tableros de cada módulo del galpón 1*

Galpón	Calibre [AWG]				
	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4	Tablero 5
1	2	1/0	2	1/0	2
2	2	2	2		
3	2	2	2		

Figura 4*Valores nominales de corrientes*

Valores nominales estándar en A				
15	20	25	30	35
40	45	50	60	70
80	90	100	110	125
150	175	200	225	250
300	350	400	450	500
600	700	800	1 000	1 200
1 600	2 000	2 500	3 000	4 000
5 000	6 000	---	---	---

Nota. Fuente: (NTC 2050, 2019, pág. 84).

Diseño Detallado.*Análisis y cuadros de cargas iniciales*

Tabla 3*Cuadro de toda la carga instalada en los galpones*

Cuadro de carga total instalada					
Instalación	Tipo de carga	Cantidad	Carga [W]	FP	Carga total [VA]
Galpón 1	Sistema de arrastre	5	11185	0,85	131159
	Salidas de Tomas 240 V	20	66000	1	66000
	Salidas de tomas 120 V	20	16800	1	16800
	Iluminación de módulos	20	3000	1	3000
	Iluminación Pasillo	20	800	1	800
Total					217759
Galpón 2	Sistema de arrastre	3	6711	0,85	7895
	Salidas de Tomas 240 V	12	39600	1	39600
	Salidas de tomas 120 V	12	10080	1	10080
	Iluminación de módulos	12	1800	1	1800
	Iluminación Pasillo	12	480	1	480
Total					59855
Galpón 3	Sistema de arrastre	3	6711	0,85	7895
	Salidas de Tomas 240 V	12	39600	1	39600
	Salidas de tomas 120 V	12	10080	1	10080
	Iluminación de módulos	12	1800	1	1800
	Iluminación Pasillo	12	480	1	480
Total					59855

Figura 5*Cuadro de cargas de los módulos del Galpón 1, 2 y 3.*

Cto.	Descripción	Carga (VA)	Tensión (V)	Corriente (A)	Protección (A)	Calibre (AWG)	Tubería	Fase	Tubería	Calibre (AWG)	Protección (A)	Corriente (A)	Tensión (V)	Carga (VA)	Descripción	Cto.
1	Tableros de trabajo	4140	220	13,88	2x20	10	3/4"	A	3/4"	12	2x15	5,48	220	2361,84	Sist. Arrastre	2
B								4								
5	Tableros de trabajo	4140	220	13,88	2x20	10	3/4"	A	3/4"	10	2x20	13,88	220	4140	Tableros de trabajo	6
B								8								
9	Iluminación módulo	150	220	1,25	2x15	12	3/4"	A	3/4"	10	2x20	13,88	220	4140	Tableros de trabajo	10
B								12								
13	Iluminación pasillo	40	220	0,92	2x15	12	3/4"	A	3/4"	10	2x20	13,88	220	4140	Tableros de trabajo	14
B								15								

En la **Tabla 3** se obtienen los valores totales de las cargas de cada galpón teniendo en cuenta el tipo de instalación. En la **Figura 5** se muestran la distribución de cargas en cada tablero de distribución para todos los módulos de cada galpón, ya que todos tienen la misma carga.

Para este proyecto No Aplica análisis de Factor de Potencia ni Armónicos.

Análisis de coordinación de aislamiento.

No Aplica

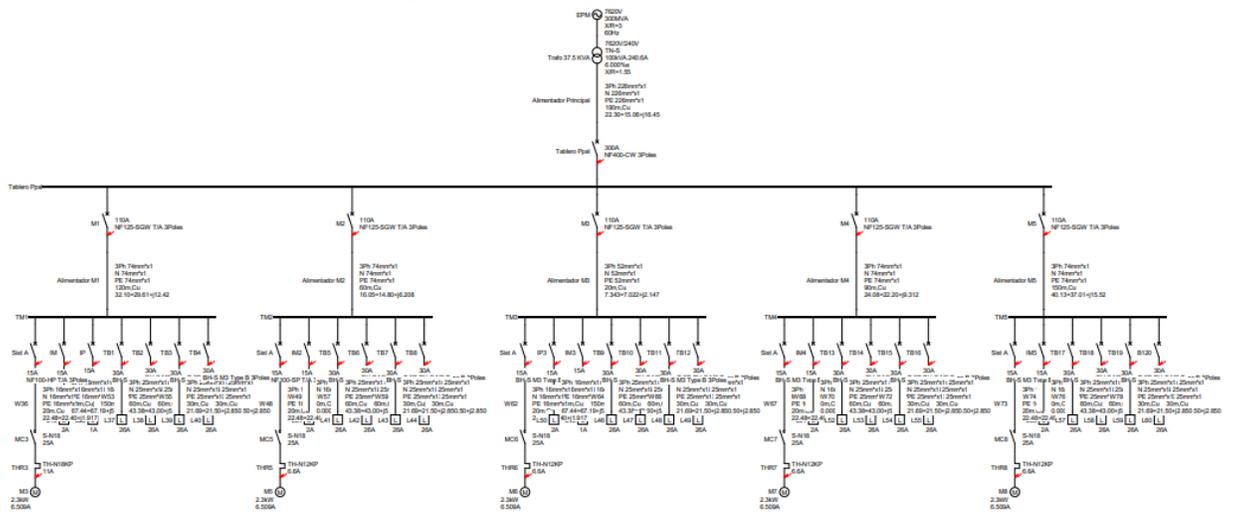
Análisis de cortocircuito y falla a tierra.

El análisis se hace para identificar el valor de la corriente de cortocircuito a la hora de una falla en la instalación, esto para poder hacer una adecuada selección de las protecciones contra las sobrecorrientes.

El cálculo de la corriente de cortocircuito se hizo a través del software de MELSHORT2 de Mitsubishi. Se hizo todo el diagrama unifilar con las protecciones en el software de MELSHORT2 y se obtuvo la corriente de cortocircuito.

Figura 6

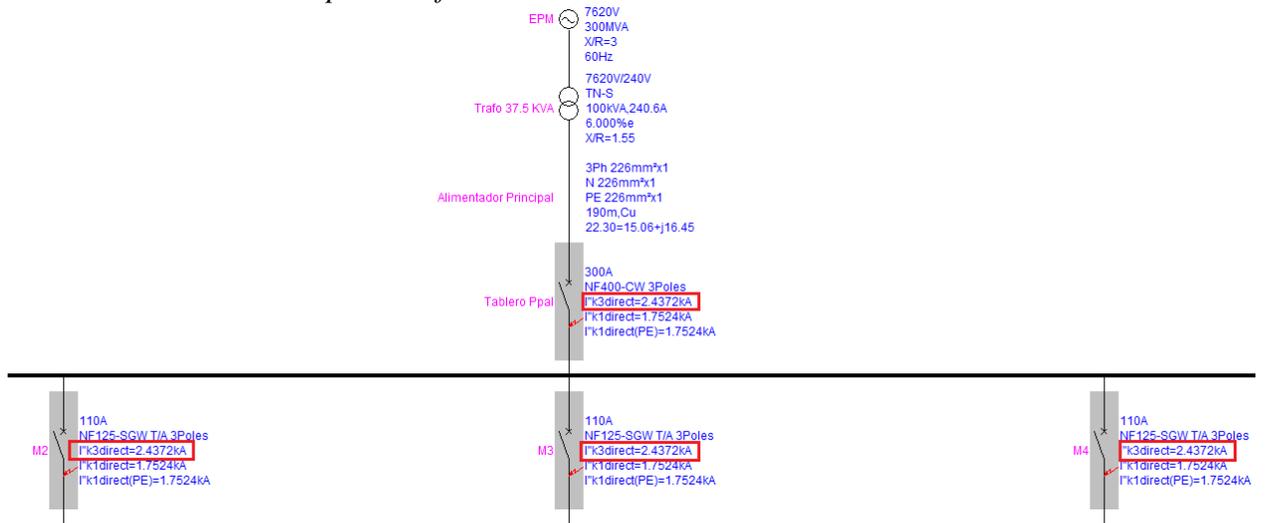
Diagrama unifilar de la instalación del galpón 1 en MELSHORT2



Nota. Fuente MELSHORT2

Figura 7

Corriente de cortocircuito dada por el software de MELSHORT2



Nota. Fuente MELSHORT2

Como resultado la corriente de cortocircuito es de 2,4372 kA dada por el software de MELSHORT2 en la **Figura 7**

Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.

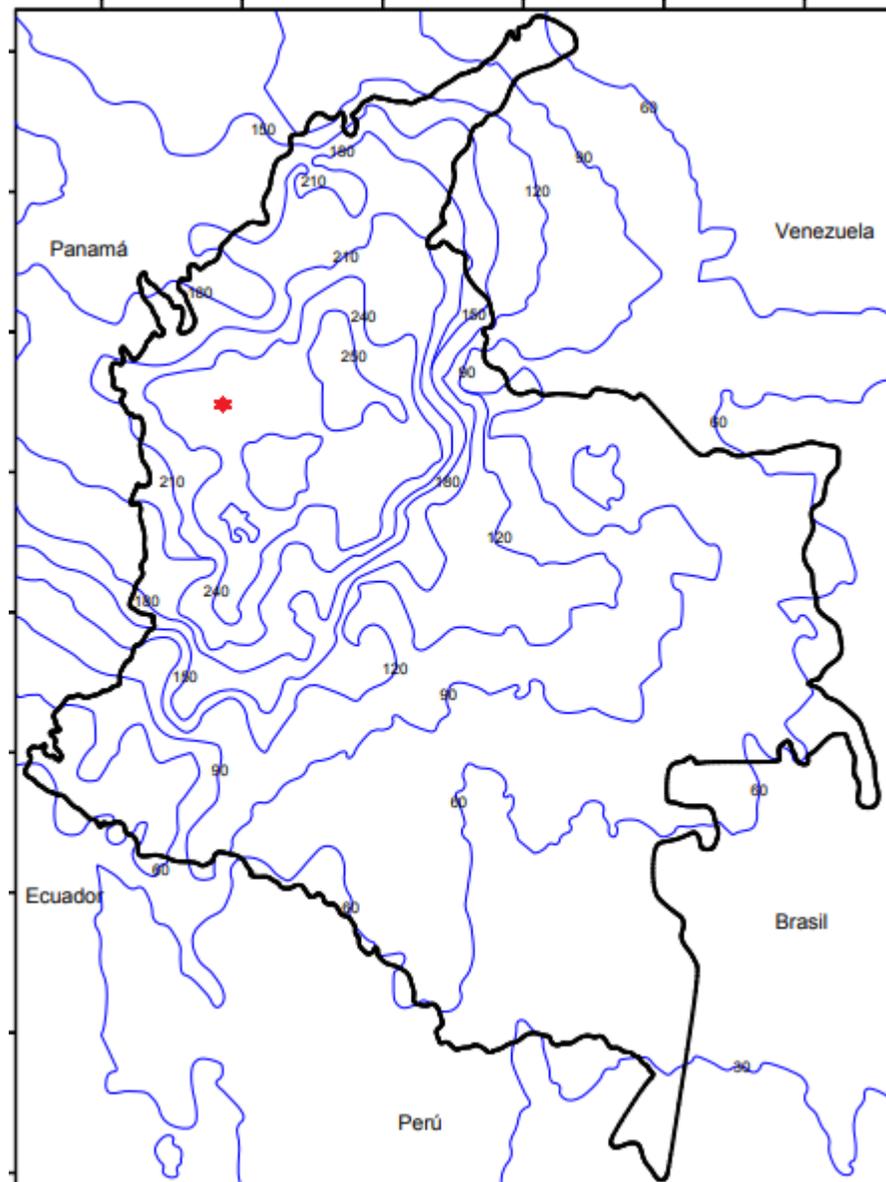
El propósito principal del procedimiento indicado en la norma es establecer la necesidad de un sistema de protección contra rayos en la instalación a proteger, se deben tener en cuenta medidas dadas por la norma para garantizar de forma correcta la seguridad de los seres vivos e instalación a proteger.

Nivel Ceraunico (NC)

Es el numero promedio de días en el año en los que hay tormentas en una zona especifica

Figura 8

Mapa de ISO-Niveles ceraunicos para Colombia (Área de 30 km x 30 km)



Nota, Fuente: (NTC 4552-1, 2008, p. 35)

Densidad de descargas a tierra (DDT). Es el número de rayos que caen a tierra por kilómetro cuadrado en un año, este depende del nivel ceraunico de la zona.

Para el cálculo del nivel ceraunico en la zona de Ebéjico- Antioquia

Con un NC =240

$$DDT = 0,0017 * NC^{1,56} \rightarrow DDT = 8,8 \text{ rayos}/\text{km}^2 \text{ al año} \quad (1)$$

Promedio anual de descargas Atmosféricas

Promedio anual de descargas en la estructura (N_d). Es el promedio de impactos de descarga que pueden caer en la estructura

$$A_D = W * L + (6 * H_p * (L + W) + (9\pi * H_p^2)) \quad (2)$$

$$A_D = 51009,56 \text{ m}^2$$

L : Largo de la estructura (300 m)

W : Ancho de la estructura (100 m)

H_p : Altura máxima de la estructura (8 m)

$$N_D = DDT * (A_D * C_D * 10^{-6}) \quad (3)$$

$$N_D = 0,2244$$

DDT : Densidad de descarga a tierra (8,8)

A_D : Área efectiva de la estructura (51009,56 m²)

C_D : Factor de localización (0,5) (de la **Tabla 4**)

Tabla 4

Localización de la estructura.

Localización de la estructura	Cd
Aislado: en la cima de una colina o elevación	2
Aislado: sin objetos la vecindad	1
Rodeado de objetos o arboles de la misma altura o menor	0,5
Rodeado de objetos o arboles más altos	0,25

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 26)

Promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia ($N_{d/a1}$). Se define como el promedio por año en que la

subestación que alimenta los galpones recibe una descarga atmosférica.

$$A_{d/a1} = W * L + (6 * H_p * (L + W) + (9\pi * H_p^2)) \quad (4)$$

$$A_{d/a1} = 1858,56 \text{ m}^2$$

L : Largo de la estructura (1 m)

W : Ancho de la estructura (1 m)

H_{p1} : Altura máxima de la estructura (8 m)

$$N_{d/a1} = DDT * (A_{d/a1} * C_D * 10^{-6}) \quad (5)$$

$$N_{d/a1} = 0,0082$$

- DDT: Densidad de descarga a tierra (8,8)
 $A_{d/a1}$: Área efectiva de la estructura (1858,56 m²)
 C_D : Factor de localización (0,2) (de la **Tabla 5**)

Tabla 5*Tipo de transformador utilizado.*

Tipo de transformador	Cd
Sin transformador	1
Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente	0,2
Con autotransformador	1

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 29)

Promedio anual de descargas en la estructura (N_M). Es el promedio de impactos de descarga que pueden caer cerca de la estructura. El área de influencia de la estructura A_M está definida entre la frontera de la estructura y una línea localizada a 250 m del perímetro de la estructura (NTC 4552-2, 2008, página 29)

$$A_M = 500 * (L + W) + \pi * 250^2 \quad (6)$$

$$A_M = 396349,54m^2$$

- L : Largo de la estructura (300 m)
 W : Ancho de la estructura (100 m)

$$N_M = DDT * (A_M - A_D * C_D) * 10^{-6} \quad (7)$$

$$N_M = 3,26$$

- DDT: Densidad de descarga a tierra (8,8)
 A_M : Área de influencia de descarga (396349,54m²)
 A_D : Área efectiva de la estructura (51009,56 m²)
 C_D : Factor de localización (0,5) (de la Tabla 33)

Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia (N_{L1}). Esta es la posibilidad de que un rayo impacte la acometida que alimenta el galpón

$$A_{L1} = (L_{C1} - 3(H_a + H_b))\sqrt{\rho} \quad (8)$$

$$A_{L1} = 3398,82m^2$$

- L_{C1} : Longitud de la sección de la acometida de servicio (200 m)
 H_a : Altura de la estructura de donde proviene el servicio (8m)
 H_b : Altura de la estructura de donde ingresa la acometida (8m)
 ρ : Resistividad del terreno donde la acometida esta enterrada (500 ohm*m)(máximo valor que se puede asumir NTC 4552-2, 2008 página 30)

$$N_{L1} = DDT * A_{L1} * C_{d/a1} * C_T * 10^{-6} \quad (9)$$

$$N_{L1} = 0,0015$$

DDT: Densidad de descarga a tierra (8,8)

A_{L1}: Área efectiva para descargas próximas a las acometidas de servicio (3398,82 m²)

C_{d/a1}: Factor de localización (0,25) (**Tabla 4**)

C_T: Corrección por presencia de transformador (0,2) (de la **Tabla 5**)

Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia (*N_{i1}*). Esta es la posibilidad de que un rayo impacte la acometida que alimenta el galpón

$$A_i = 25 * L_C * \sqrt{\rho} \quad (10)$$

$$A_i = 111803,39 \text{ m}^2$$

L_C: Longitud de la sección de la acometida de servicio (200 m)

ρ: Resistividad del terreno donde la acometida está enterrada (500 ohm*m) (máximo valor que se puede asumir NTC 4552-2, 2008, página 30)

$$N_{i1} = DDT * A_i * C_e * C_T * 10^{-6} \quad (11)$$

$$N_{i1} = 0,197$$

DDT: Densidad de descarga a tierra (8,8)

A_i: Área efectiva para descargas próximas a las acometidas de servicio (111803,39 m²)

C_e: Factor ambiental (1) (**Tabla 6**)

C_T: Corrección por presencia de transformador (0,2) (de la **Tabla 5**)

Tabla 6

Ambiente alrededor de la acometida.

Ambientes donde están las acometidas	C_e
Rural	1
Suburbano - menos de 10 metros de altura	0,5
Urbano -entre 10 metros y 20 metros	0,1
Urbano con edificaciones altas - mas de 20 metros	0

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 31)

Tabla 7

Medidas tomadas con respecto a tensión de paso y toque.

Medida tomada frente a tensiones de paso y de toque	P_A
Sin medidas de protecciones	1
Aislamiento eléctrico de bajantes expuestos	10 ⁻²
Equipotencialización efectiva a nivel suelo	10 ⁻²
Aviso de advertencia	10 ⁻¹

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 32)

Tabla 8*Nivel de protección de la estructura.*

Nivel de protección contra rayos	P_B
Estructura no protegida	1
Nivel IV	0,2
Nivel III	0,1
Nivel II	0,05
Nivel I	0,02
Estructura con un sistema de captación aéreo de acuerdo al nivel I y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes	0,01
Estructura con techo metálico o un sistema de captación aéreo con protección completa de cualquier instalación el techo contra impactos directos de rayo y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes.	0,001

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 32)**Tabla 9***Sistemas de protección interno adoptado.*

Nivel de protección contra rayos de sist. internos	P_{DPS}
Sin sistema de protección externa	1
Nivel III y IV	0,03
Nivel II	0,02
Nivel I	0,01
DPS con mejores características que el nivel I	0,005-0,001

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 33)**Tabla 10***Valores de probabilidad de daño PLD en sistemas internos en función de la resistencia del apantallamiento R_s y la tensión soportable U_w del cable*

Tipo de acometida	U_w [kV]	5 < R_s ≤ 20 [Ω/km]	1 < R_s ≤ 5 [Ω/km]	R_s ≤ 1 [Ω/km]
Cable apantallado	1,5	1	0,8	0,4
	2,5	0,95	0,6	0,2
	4	0,9	0,3	0,04
	6	0,8	0,1	0,02
Cable no apantallado			1	

R_s [Ω/km] resistencia del apantallamiento del cable

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 35)

Tabla 11Valores P_{MS} en función de K_{MS}

K_{MS}	P_{MS}
$\geq 0,4$	1
0,15	0,9
0,07	0,5
0,035	0,1
0,021	0,01
0,016	0,005
0,015	0,003
0,014	0,001
$\leq 0,013$	0,0001

Nota: Para sistemas internos con equipos con niveles de soportabilidad al impulso inferiores al estándar, se asignara un valor de $P_{MS} = 1$

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 34)

Pérdidas de vidas humanas L1. Este es el tipo de perdida que pueden sufrir los humanos a la hora de una descarga en la estructura en la que se encuentren.

Pérdida de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (L_A).

Este está relacionado con las tensiones de paso o de contacto en el área circundante de la estructura

$$L_A = r_a * L_t \quad (12)$$

$$L_A = 10^{-4}$$

r_a : Factor de reducción en función del suelo donde se encuentra la estructura (10^{-2}) (**Tabla 12**)

L_t : Pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (10^{-2}) (**Tabla 13**)

Tabla 12

Ambiente alrededor de la acometida.

Tipo de suelo en el interior de la estructura	r_a y r_u
Prado, Concreto	10^{-2}
Mármol, Cerámica	10^{-3}
Gravilla, tapete plástico	10^{-4}
Asfalto, madera, linóleo, vinilo	10^{-5}

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 41)

Tabla 13*Valores promedios típicos de L_t , L_f y L_o*

Tipo de Estructura	L_t
Todos los tipos - personas dentro de la estructura	10^{-4}
Todos los tipos - personas fuera de la estructura	10^{-2}
Tipo de Estructura	L_f
Hospitales, hoteles, edificios civiles	10^{-1}
Industrial, comerciales, escuelas	5×10^{-2}
Entretenimiento público, Iglesias, museos	2×10^{-2}
Tipo de Estructura	L_o
Riesgo de explosión	10^{-1}
Hospitales	10^{-3}

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 41)

Pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura (L_{B1})

$$L_{B1} = r_p * h_z * r_f * L_f \quad (13)$$

$$L_{B1} = 5 * 10^{-5}$$

- r_p : Medidas de protección contra incendios (1) (**Tabla 14**)
- h_z : Incrementos de perdidas debido a daños físicos por condiciones especiales (1) (**Tabla 16**)
- r_f : Factor de perdida debido a daños físicos que depende del riesgo del fuego en la estructura (0,001) (**Tabla 15**)
- L_f : Pérdidas de vidas humanas por daños físicos ($5 * 10^{-2}$) (**Tabla 13**)

Tabla 14*Medidas de protección por fuego.*

Medidas de protección por fuego	r_p
Sin medida de prevención	1
Extintores manuales, alarmas manuales, hidrantes, compartimientos contra fuego, rutas de evacuación	0,5
Extintores automáticos, alarmas automáticas	0,2

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 42)

Tabla 15*Riesgo de explosión.*

Riesgo de fuego	r_f
explosión	1
Alto	10^{-1}
Ordinario	10^{-2}
Bajo	10^{-3}
Ninguno	0

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 43)

Tabla 16*Situación especial de peligro.*

Situación especial de peligro	r_p
Sin riesgo especial	1
Bajo (menos de 100 personas)	2
Medio (entre 100 y 1000 personas)	5
Dificultad de evacuación (con personas discapacitadas)	5
Alto (superiores a 1000 personas)	10
Peligro para el medio ambiente o el entorno	20
Contaminación del ambiente alrededor	50

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p43)

Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (L_U). Este está relacionado con las tensiones de contacto en el área interna de la estructura

$$L_U = r_u * L_t \quad (14)$$

$$L_U = 10^{-8}$$

r_u : Factor de reducción en función del suelo donde se encuentra la estructura (10^{-4})(**Tabla 12**)

L_t : Perdidas debido a lesiones por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (10^{-4})(**Tabla 13**)

Pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometidas de servicios (L_V).

$$L_{V1} = r_p * h_z * r_f * L_f \quad (15)$$

$$L_B = 0,05$$

r_p : Medidas de protección contra incendios (1) (**Tabla 14**)

h_z : Incrementos de perdidas debido a daños físicos por condiciones especiales (1) (**Tabla 16**)

r_f : Factor de perdida debido a daños físicos que depende del riesgo del fuego en la estructura (1) (**Tabla 15**)

L_f : Perdidas de vidas humanas por daños físicos ($5 * 10^{-2}$)(**Tabla 13**)

Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura (L_{C1}).

$$L_{C1} = 10^{-3}$$

L_{C1} : Es el índice de pérdidas humanas por fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga atmosférica

Valor L_o tomado de la **Tabla 13**, ya que son inciertos se iguala L_{C1} a L_o

Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (L_{M1}).

$$L_{M1} = 10^{-3}$$

L_{M1} : Es el índice de pérdidas humanas por fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga atmosférica

Valor L_o tomado de la **Tabla 13**, ya que son inciertos se iguala L_{M1} a L_o

Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (L_{W1}).

$$L_{W1} = 10^{-3}$$

L_{W1} : Es el índice de pérdidas humanas por fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga atmosférica

Valor L_o tomado de la **Tabla 13**, ya que son inciertos se iguala L_{W1} a L_o

Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (L_{Z1}).

$$L_{Z1} = 10^{-3}$$

L_{Z1} : Es el índice de pérdidas humanas por fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga atmosférica

Valor L_o tomado de la **Tabla 13**, ya que son inciertos se iguala L_{Z1} a L_o

Perdidas inaceptables del servicio publico L_2

Pérdida inaceptable del servicio público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura (L_{B2}).

$$L_{B2} = r_p * r_f * L_f \quad (16)$$

$$L_{B2} = 10^{-5}$$

r_p : Medidas de protección contra incendios (1) (**Tabla 14**)

r_f : Factor de pérdida debido a daños físicos que depende del riesgo del fuego en la estructura (10^{-3}) (**Tabla 25**)

L_f : Pérdidas de vidas humanas por daños físicos (10^{-2}) (**Tabla 17**)

Tabla 17

Tipo de servicio.

Tipo de servicio	L_f	L_o
Dentro de la estructura	10^{-1}	10^{-2}
Fuera de la estructura	10^{-2}	10^{-3}

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, p. 41)

Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios (L_{V2}).

$$L_{V2} = r_p * r_f * L_f \quad (17)$$

$$L_{V2} = 0,01$$

r_p : Medidas de protección contra incendios (1) (**Tabla 14**)

r_f : Factor de pérdida debido a daños físicos que depende del riesgo del fuego en la estructura (1) (**Tabla 15**)

L_f : Pérdidas de vidas humanas por daños físicos (10^{-2}) (**Tabla 17**)

Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura (L_{C2}).

$$L_{C2} = 10^{-3}$$

Valor L_o tomado de la **Tabla 17**

Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (L_{M2}).

$$L_{M2} = 10^{-3}$$

Valor L_o tomado de la **Tabla 17**

Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (L_{W2}).

$$L_{W2} = 10^{-3}$$

Valor L_o tomado de la **Tabla 17**

Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (L_{Z2}).

$$L_{Z2} = 10^{-3}$$

Valor L_o tomado de la **Tabla 17**

Componentes del riesgo

Figura 9

Componentes del riesgo en estructuras

Daño	Descargas sobre la Estructura S1	Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios S3 ⁽¹⁾	Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 ⁽¹⁾
D1	$R_A = N_D * P_A * L_A$		$R_U = (N_L + N_{Da}) * P_U * L_U$	
D2	$R_B = N_D * P_B * L_B$		$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V$	
D3	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W$	$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z$
¹⁾ Si la línea tiene más de una sección (aérea, subterránea, apantallada, sin apantallamiento), el valor de R_U , R_V , R_W y R_Z serán la suma de los valores R_U , R_V , R_W y R_Z pertinentes a cada sección de la línea. En caso de que a la estructura lleguen más líneas conectadas a través de diferentes rutas, el cálculo se debe hacer para cada línea. NOTA 1 Las componentes L_x varían de acuerdo al tipo de riesgo a evaluar (R_1, R_2, R_3, R_4) NOTA 2 Para el cálculo de R_Z si $(N_I - N_L) \leq 0$ entonces $R_Z = 0$				

Nota. Fuente (NTC 4552-2, 2008, página 22)

Descarga sobre la estructura S1

Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D1 (con las pérdidas de vidas humanas) (R_A).

$$R_A = N_d * P_A * L_{a1} \quad (18)$$

$$R_A = 2,244 * 10^{-5}$$

N_d Promedio de descargas anual sobre la estructura (0,2244)

P_A Probabilidad de daño de lesiones a seres humanos por tensiones de paso y contacto (1) (**Tabla 7**)

L_A Pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (10^{-4})

Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D2 (con Lb para pérdidas de vidas humanas) (R_{B1}).

$$R_{B1} = N_d * P_B * L_{B1} \quad (19)$$

$$R_{B1} = 1,122 * 10^{-5}$$

N_d Promedio de descargas anual sobre la estructura (0,2244)

P_B Medidas de protección característica de la estructura (1) (**Tabla 9**)

L_{B1} Pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión. ($5 * 10^{-5}$)

Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D2 (con Lb para pérdidas de vidas humanas) (R_{B2}).

$$R_{B2} = N_d * P_B * L_{B2} \quad (20)$$

$$R_{B2} = 2,244 * 10^{-6}$$

N_d Promedio de descargas anual sobre la estructura (0,2244)

P_B Medidas de protección característica de la estructura (1) (**Tabla 9**)

L_{B2} Pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión. ($1 * 10^{-5}$)

Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con Lc para perdidas inaceptables del servicio público) (R_{C1}).

$$R_{C1} = N_d * P_C * L_{C1} \quad (21)$$

$$R_{C1} = 2,244 * 10^{-4}$$

N_d Promedio de descargas anual sobre la estructura (0,2244)

P_C Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos directos (1) (**Tabla 8**)

L_{C1} Pérdidas del servicio publico por fallas de sistemas internos (0,001)

Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con Lc para perdidas inaceptables del servicio público) (R_{C2}).

$$R_{C2} = N_d * P_C * L_{C2} \quad (22)$$

$$R_{C2} = 2,244 * 10^{-4}$$

N_d Promedio de descargas anual sobre la estructura (0,2244)

P_C Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos directos (1) (**Tabla 8**)

L_{C2} Pérdidas del servicio público por fallas de sistemas internos (0,001)

Descargas sobre la estructura

Descarga sobre la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm para pérdidas de vidas humanas) (R_{M1})

$$R_{M1} = N_M * P_M * L_{M1} \quad (23)$$

$$R_{M1} = 3,26 * 10^{-3}$$

N_M Promedio de descargas anual sobre la estructura (3,26)

P_M Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura (1) (**Tabla 8**)

L_{M1} Pérdidas de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (0,001)

Descarga sobre la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm para pérdidas de vidas humanas) (R_{M2})

$$R_{M2} = N_M * P_M * L_{M2} \quad (24)$$

$$R_{M2} = 0$$

N_M Promedio de descargas anual sobre la estructura (3,26)

P_M Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura (1) (**Tabla 8**)

L_{M2} Pérdidas de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (0)

Descargas sobre acometidas de servicios

Descarga sobre la estructura S3 con respecto al daño D1- Potencia (R_{U1})

$$R_{U1} = (N_{L1} + N_{d/a1}) * P_U * L_U \quad (25)$$

$$R_{U1} = 9 * 10^{-11}$$

N_{L1} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0,0015)

$N_{d/a1}$ Promedio de descargas anual sobre las estructuras adyacentes de donde proviene la acometida de potencia (0,0082)

P_U Probabilidad de lesiones a seres vivos debido a tensiones de paso o contacto por descargas sobre las acometidas de servicios (1) (cuando no existe DPS P_U toma valores de la **Tabla 8**)

L_U Perdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (10^{-8})

Descarga sobre la estructura S3 con respecto al daño D1- Potencia (R_{U2}).

$$R_{U2} = (N_{L2} + N_{d/a2}) * P_U * L_U \quad (26)$$

$$R_{U2} = 0$$

- N_{L2} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0)
- $N_{d/a2}$ Promedio de descargas anual sobre las estructuras adyacentes de donde proviene la acometida de potencia (0)
- P_U Probabilidad de lesiones a seres vivos debido a tensiones de paso o contacto por descargas sobre las acometidas de servicios (1) (cuando no existe DPS P_U toma valores de la **Tabla 8**)
- L_U Perdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (10^{-8})

Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con L_{W1} para pérdidas de vidas humanas) (R_{W1}).

$$R_{W11} = (N_{L1} + N_{d/a1}) * P_W * L_{W1} \quad (27)$$

$$R_{W11} = 9,7 * 10^{-6}$$

- N_{L1} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0,0015)
- $N_{d/a1}$ Promedio de descargas anual sobre las estructuras adyacentes de donde proviene la acometida de potencia (0,0082)
- P_W Probabilidad de daño de sistemas internos por IER a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1) (cuando no existe DPS P_U toma valores de la **Tabla 8**)
- L_{W1} Perdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (0,001)

$$R_{W12} = (N_{L2} + N_{d/a2}) * P_W * L_{W1} \quad (28)$$

$$R_{W12} = 0$$

- N_{L2} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0)
- $N_{d/a2}$ Promedio de descargas anual sobre las estructuras adyacentes de donde proviene la acometida de potencia (0)
- P_W Probabilidad de daño de sistemas internos por IER a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1) (cuando no existe DPS P_U toma valores de la **Tabla 8**)
- L_{W1} Perdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (0,001)

Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con L_{W2} para pérdidas inaceptable del servicio público) (R_{W2}).

$$R_{W21} = (N_{L1} + N_{d/a1}) * P_W * L_{W2} \quad (29)$$

$$R_{W21} = 9,7 * 10^{-6}$$

- N_{L1} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0,0015)
- $N_{d/a1}$ Promedio de descargas anual sobre las estructuras adyacentes de donde proviene la acometida de potencia (0,0082)
- P_W Probabilidad de daño de sistemas internos por IER a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1) (cuando no existe DPS P_U toma valores de la **Tabla 8**)
- L_{W2} Pérdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (0,001)

$$R_{W22} = (N_{L2} + N_{d/a2}) * P_W * L_{W2} \quad (30)$$

$$R_{W22} = 0$$

- N_{L2} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0)
- $N_{d/a2}$ Promedio de descargas anual sobre las estructuras adyacentes de donde proviene la acometida de potencia (0)
- P_W Probabilidad de daño de sistemas internos por IER a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1) (cuando no existe DPS P_U toma valores de la **Tabla 8**)
- L_{W2} Pérdidas de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (0,001)

Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4.

Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con L_{Z1} para pérdidas de vidas humanas) (R_{Z1}).

$$R_{Z11} = (N_{i1} + N_{L1}) * P_Z * L_{Z1} \quad (31)$$

$$R_{Z11} = 1,985 * 10^{-4}$$

- N_{i1} Promedio de descargas anual cercanas a las acometidas de potencia (0,197)
- N_{L1} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0,0015)
- P_Z Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1) (**Tabla 8**)

L_{Z1} Perdidas de vidas humanas por falla en sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (0,001)

$$R_{Z12} = (N_{i2} + N_{L2}) * P_Z * L_{Z1} \quad (32)$$

$$R_{Z12} = 0$$

N_{i2} Promedio de descargas anual cercanas a las acometidas de potencia (0)

N_{L2} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0)

P_Z Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1) (**Tabla 8**)

L_{Z1} Perdidas de vidas humanas por falla en sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (0,1)

Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con L_{Z2} para perdidas de inaceptables del servicio (R_{Z2}).

$$R_{Z21} = (N_{i1} + N_{L1}) * P_Z * L_{Z2} \quad (33)$$

$$R_{Z21} = 1,985 * 10^{-4}$$

N_{i1} Promedio de descargas anual cercanas a las acometidas de potencia (0,197)

N_{L1} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia. (0,0015)

P_Z Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1) (**Tabla 8**)

L_{Z2} Perdidas de vidas humanas por falla en sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (0,001)

$$R_{Z12} = (N_{i2} + N_{L2}) * P_Z * L_{Z2} \quad (34)$$

$$R_{Z12} = 0$$

N_{i2} Promedio de descargas anual cercanas a las acometidas de potencia (0)

N_{L2} Promedio de descargas anual sobre las acometidas de servicios de potencia (0)

P_Z Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1) (**Tabla 8**)

L_{Z2} Perdidas de vidas humanas por falla en sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (0,001)

Riesgos.**Figura 10***Componentes de riesgo para cada tipo de estructura*

Fuente de daño	Descargas sobre la estructura S1			Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios S3			Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4
	R_A^3	R_B	R_C^4	R_M^4	R_U^5	R_V^5	$R_W^{4,5}$	$R_Z^{4,5}$
Riesgo para cada tipo de pérdida								
R_1	X	X	X^1	X^1	X	X	X^1	X^1
R_2		X	X	X		X	X	X
R_3		X				X		
R_4	X^2	X	X	X	X^2	X	X	X

¹ Únicamente para estructuras con riesgo de explosión, y para hospitales u otras estructuras en donde la falla de sistemas internos ponga en peligro la vida humana
² Únicamente para propiedades en donde pueda haber pérdida de animales
³ Únicamente se calcula para exteriores
⁴ Únicamente se calcula si existe equipo sensible
⁵ Se debe calcular para cada tipo de acometida de servicios (alimentación eléctrica y telecomunicaciones)

Nota. Fuente: (NTC 4522-2, 2008, página 12)

Riesgo de pérdidas de vidas humanas (R_1).

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (35)$$

$$R_1 = 3,590409 * 10^{-5}$$

R_A Descarga sobre la estructura S_1 con respecto al daño D_1 (con L_a para pérdidas de vidas humanas ($2,244 * 10^{-5}$))

R_B Descarga sobre la estructura S_1 con respecto al daño D_2 (con L_b para pérdidas de vidas humanas) ($R_{B1} + R_{B2} = 1,3464 * 10^{-5}$)

R_U Descarga sobre la estructura S_3 con respecto al daño D_1 - Potencia ($R_{U1} + R_{U2} = 9 * 10^{-11}$)

R_V Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S_3 con respecto al daño D_2 (con L_v para pérdidas de vidas humanas) ($R_V = 0$)

Riesgo de pérdidas de pérdidas de servicio (R_2).

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (36)$$

$$R_2 = 4,138664 * 10^{-3}$$

- R_B Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D2 (con Lb para pérdidas de vidas humanas) ($1,364 * 10^{-5}$)
- R_C Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con Lc1 para perdidas de vidas humanas y con Lc2 para perdidas inaceptables del servicio) ($R_{C1} + R_{C2} = 4,488 * 10^{-4}$)
- R_M Descargas cercanas a la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm1 para pérdidas de vidas humanas y con Lm2 para perdidas inaceptables del servicio) ($3,26 * 10^{-3}$)
- R_V Descarga sobre la acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D2 (con Lv para pérdidas de vidas humanas) ($R_V = 0$)
- R_W Descarga sobre la acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lw1 para pérdidas de vidas humanas, Lw2 para perdidas inaceptables del servicio) ($R_{W1} + R_{W2} = 1,94 * 10^{-5}$)
- R_Z Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lw1 para pérdidas de vidas humanas y Lw2 para perdidas inaceptables del servicio) ($R_{Z1} + R_{Z2} = 3,97 * 10^{-4}$)

Riesgo de pérdidas de valor económico. Este riesgo se calcula de la siguiente manera:

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z = R_2 \quad (37)$$

$$R_4 = 3,590409 * 10^{-5}$$

Comparación de resultados.

Tabla 18

Resultado de evaluación de los componentes de riesgo.

Componentes de riesgo	Valor obtenido	Valor referencia	Cumple (SI/NO)
Perdidas de vida humana	$3,590409 * 10^{-5}$	$1x10^{-5}$	NO
Perdida de los servicios públicos	$4,138664 * 10^{-3}$	$1x10^{-3}$	NO
Pérdida de patrimonio cultural	$4,138664 * 10^{-3}$	$1x10^{-3}$	NO

Medidas recomendadas. El resultado de la evaluación determino que no se cumplen las componentes del riesgo actuales en las instalaciones, por lo que se deben adoptar medidas para

reducir el riesgo a valores tolerables. Es necesario implementar las siguientes medidas para reducir el riesgo:

- Instalación de un sistema nivel IV
- Instalaciones de extintores automáticos
- Señalización adecuada para evitar condiciones de riesgo eléctrico
- Equipontencialización efectiva del suelo.
- Instalación de DPSs de acuerdo con el nivel del riesgo y cumpliendo los respectivos requerimientos de equipontencialización de la NTC 4552-3

Resultados finales del Riesgo.

Riesgo de pérdidas de vidas humanas (R_1).

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \rightarrow R_1 = 3,590409 * 10^{-5}$$

$$R_A = 2,244 * 10^{-7} \quad (P_A, \text{ toma el valor } 10^{-2} \text{ de la Tabla 36, equipotencializacion efectiva del suelo})$$

$$R_B = 5,3856 * 10^{-7} \quad (P_B, \text{ toma el valor de } 0,2 \text{ de la Tabla 37, Nivel IV})$$

$$R_U = 2,91 * 10^{-12} \quad (P_U, \text{ toma el valor } 0,03 \text{ de la Tabla 38, Nivel III y IV, Cuando es provisto un sistema coordinado de protecciones en concordancia con la normatividad } P_U \text{ tomara el menor valor de la Tabla 38 y la Tabla 39})$$

$$R_V = 0$$

Riesgo de pérdidas de pérdidas de servicio (R_2).

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \rightarrow R_2 = 1,1756256 * 10^{-4}$$

$$R_B = 5,3856 * 10^{-7}$$

$$R_C = 6,732 * 10^{-6}$$

$$R_M = 9,78 * 10^{-5} \quad (P_M, \text{ toma el valor } 0,03 \text{ de la Tabla 38, Nivel III y IV, Cuando es provisto un sistema coordinado de protecciones en concordancia con la normatividad } P_M \text{ tomara el menor valor de la Tabla 38 y la Tabla 40})$$

$$R_V = 0$$

$R_W = 5,82 * 10^{-7}$ (P_W , toma el valor 0,03 de la Tabla 38, Nivel III y IV, Cuando es provisto un sistema coordinado de protecciones en concordancia con la normatividad P_W tomara el menor valor de la Tabla 38 y la Tabla 40)

$R_Z = 1,191 * 10^{-5}$ (P_Z , toma el valor 0,03 de la Tabla 38, Nivel III y IV, Cuando es provisto un sistema coordinado de protecciones en concordancia con la normatividad P_Z tomara el menor valor de la Tabla 38 y la Tabla 40)

Riesgo de pérdidas de valor económico. Este riesgo se calcula de la siguiente manera:

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z = R_2 \rightarrow R_4 = 1,1756256 * 10^{-4}$$

Tabla 19

Resultado de evaluación de los componentes de riesgo corregidos.

Componentes de riesgo	Valor obtenido	Valor referencia	Cumple (SI/NO)
Pérdidas de vida humana	$3,590409 * 10^{-5}$	$1x10^{-5}$	SI
Pérdida de los servicios públicos	$1,1756256 * 10^{-4}$	$1x10^{-3}$	SI
Pérdida de patrimonio cultural	$1,1756256 * 10^{-4}$	$1x10^{-3}$	SI

Análisis de nivel de riesgo por origen eléctrico

En el numeral 9.3 FACTORES DE RIESGO ELÉCTRICO MÁS COMUNES del RETIE, se establece que:

“Por regla general, todas las instalaciones eléctricas tienen implícito un riesgo y ante la imposibilidad de controlarlos todos en forma permanente, se seleccionaron algunos factores, que al no tenerlos presentes ocasionan la mayor cantidad de accidentes.

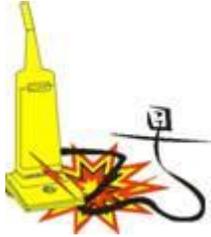
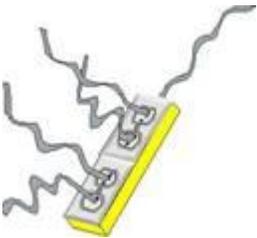
El tratamiento preventivo de la problemática del riesgo de origen eléctrico, obliga a saber identificar y valorar las situaciones irregulares, antes de que suceda algún accidente. Por ello, es necesario conocer claramente el concepto de riesgo; a partir de ese conocimiento, del análisis de los factores que intervienen y de las circunstancias particulares, se tendrán criterios objetivos que permitan detectar la situación de riesgo y valorar su grado de peligrosidad. Identificado el riesgo, se han de seleccionar las medidas preventivas aplicables.” (RETIE, 2015)

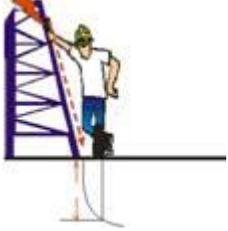
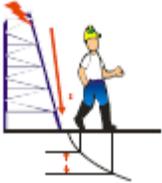
A continuación, en la **Tabla 20** se ilustran los principales factores de riesgo de origen eléctrico y las medidas de protección que se deben adoptar para minimizar dicho riesgo,

Tabla 20

Tabla de factores de riesgo, posibles causas y medidas de protección

	<p>Riesgo: arcos eléctricos.</p> <p>Posibles causas: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores.</p> <p>Medidas de protección: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar gafas de protección contra rayos ultravioleta.</p>
	<p>Riesgo: ausencia de electricidad. posibles causas: Apagón, no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia.</p> <p>Medidas de protección: Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.</p>
	<p>Riesgo: contacto directo</p> <p>Posibles causas: Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos.</p> <p>Medidas de protección: 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.</p>
	<p>Riesgo: contacto indirecto</p> <p>Posibles causas: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.</p> <p>Medidas de protección: 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>Riesgo: cortocircuito</p> <p>Posibles causas: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades.</p> <p>Medidas de protección: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.</p>
	<p>Riesgo: electricidad estática</p> <p>Posibles causas: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p>Medidas de protección: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.</p>
	<p>Riesgo: equipo defectuoso</p> <p>Posibles causas: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p>Medidas de protección: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.</p>
	<p>Riesgo: rayos</p> <p>Posibles causas: Fallas en el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.</p> <p>Medidas de protección: Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipontencialización, apantallamientos, topología de cableados. Además, suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.</p>
	<p>Riesgo: sobrecarga</p> <p>Posibles causas: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos.</p> <p>Medidas de protección: Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles, dimensionamiento adecuado de conductores y equipos.</p>

	<p>Riesgo: tensión de contacto</p> <p>Posibles causas: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.</p> <p>Medidas de protección: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>
	<p>Riesgo: tensión de paso</p> <p>Posibles causas: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas.</p> <p>Medidas de protección: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>

Nota. Fuente (RETIE, 2015, p. 45)

Atendiendo las recomendaciones de la tabla anterior se realiza un análisis a los factores de riesgo a los que pueda estar expuesta la instalación objeto de estas memorias de cálculo como se muestra en la **Tabla 21**

Tabla 21

Factores de riesgo, electrocución y medidas para mitigarlo.

Factor de riesgo	Evento	Fuente	Medidas para mitigarlo
Contacto directo	Electrocución	Tableros, de distribución y salidas eléctricas	1) No dejar partes energizadas expuestas, usar frente muerto en tablero de distribución. 2) Respetar las distancias de seguridad y de trabajo especificadas según el nivel de tensión. 3) Aislamiento de los equipos adecuado de acuerdo al nivel de tensión
Contacto indirecto	Electrocución	Elementos metálicos y salidas eléctricas	1) Cumplir con las distancias mínimas de seguridad y espacios de trabajo según el nivel de tensión. 2) Todos los elementos metálicos deben estar puestos eficazmente a tierra por medio del conductor de puesta a tierra
Sobrecarga	Cortocircuito	Cargas	1) Adecuado dimensionamiento de

e incendio eléctricas conductores. 2) Adecuado dimensionamiento de protecciones termomagnética contra sobrecorrientes, teniendo en cuenta el calibre y la capacidad de corriente del conductor y equipos a proteger

Nota. Fuente (RETIE, 2015)

Ahora se analizan varios casos de riesgo eléctrico que se pueden presentar en la instalación, tomando como referencia los cuadros de análisis brindados por el RETIE como se muestra en la **Figura 11** y en la **Figura 12**.

Figura 11

Ejemplo cuadro de análisis de riesgo eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		por		(al) o (en)						
		EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)		FACTOR DE RIESGO (CAUSA) (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)				
POTENCIAL		REAL		FRECUENCIA						
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	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)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Evaluador: _____ MP: _____ Fecha: _____

Nota. Fuente (RETIE, 2015, p. 44)

Figura12

Clasificación de nivel de riesgo.

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	Inadmisible para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué puede salir mal o fallar? • ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? • ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades.

Nota. Fuente (RETIE, 2015, p. 44)

Figura 13

Análisis de riesgo para quemaduras por arco eléctrico en la apertura de seccionadores con carga.

RIESGO A EVALUAR	EVENTO: <u>Quemaduras</u>				FACTOR DE RIESGO: <u>Arco eléctrico</u>		FUENTE: <u>Apertura o cierres de seccionadores con carga</u>			
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/> REAL <input type="checkbox"/>					FRECUCIA					
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la	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)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
RESULTADOS										
	Frecuencia		Consecuencia			Riesgo				
Personas	C		1			BAJO				
Económicas	C		1			BAJO				
Ambientales	C		1			BAJO				
Imagen Empresa	C		1			BAJO				
NIVEL DE RIESGO										BAJO

Medidas para mitigarlos:

- Personal calificado.
- Distancias de seguridad.
- Utilización de elementos de protección personal.
- Utilización de equipos adecuados de corte.

Figura 14

Análisis de riesgo para perdida de producción debido a la ausencia de electricidad por sobrecarga o cortocircuito en la instalación.

RIESGO A EVALUAR	EVENTO: <u>Perdida de producción</u>				FACTOR DE RIESGO: <u>Ausencia de electricidad</u>		FUENTE: <u>Cortocircuito, sobrecarga</u>			
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E No ha ocurrido en el sector	D Ha ocurrido en el sector	C Ha ocurrido en la Empresa	B sucede varias veces al año en la E	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 tempora	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	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
RESULTADOS										
	Frecuencia		Consecuencia		Riesgo					
Personas	C		1		BAJO					
Económicas	C		2		MEDIO					
Ambientales	C		1		BAJO					
Imagen Empresa	C		2		MEDIO					
NIVEL DE RIESGO					MEDIO					

Medidas para mitigarlo:

- Mantenimientos preventivos de la instalación.
- Inspecciones visuales del estado de la instalación.

Figura 15

Análisis de riesgo por electrocución por contacto directo en el montaje de transformador de distribución.

RIESGO A EVALUAR	EVENTO: <u>Electrocución</u>				FACTOR DE RIESGO: <u>Contacto directo</u>		FUENTE: <u>Montaje de Transformador de distribución</u>			
	POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E No ha ocurrido en el sector	D Ha ocurrido en el sector	C Ha ocurrido en la Empresa	B Sucede varias veces al año en la Empresa	A Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	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
RESULTADOS										
	Frecuencia		Consecuencia			Riesgo				
Personas	C		1			BAJO				
Económicas	C		1			BAJO				
Ambientales	C		1			BAJO				
Imagen Empresa	C		1			BAJO				
NIVEL DE RIESGO										BAJO

Medidas para mitigarlo:

- Distancias de seguridad.
- Aislamiento o recubrimiento de partes activas.
- Uso de las reglas de oro

Figura 16

Análisis de riesgo por electrización por contacto directo a equipos y partes metálicas de la instalación.

RIESGO A EVALUAR	EVENTO: <u>Electrización</u>				FACTOR DE RIESGO: <u>Contacto directo</u>		FUENTE: <u>Equipos y partes metálicas</u>			
	POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E No ha ocurrido en el sector	D Ha ocurrido en el sector	C Ha ocurrido en la Empresa	B Sucede varias veces al año en la Empresa	A Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	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
RESULTADOS										
	Frecuencia		Consecuencia			Riesgo				
Personas	C		1			BAJO				
Económicas	C		1			BAJO				
Ambientales	C		1			BAJO				
Imagen Empresa	C		1			BAJO				
NIVEL DE RIESGO										BAJO

Medidas para mitigarlo:

- Utilización de los equipos de protección personal
- Uso de puesta a tierra

Figura 17

Análisis de riesgo por electrización por cortocircuito debido a la impericia de los técnicos.

RIESGO A EVALUAR	EVENTO: <u>Electrización</u>				FACTOR DE RIESGO: <u>Cortocircuito</u>		FUENTE: <u>Impericia de los técnicos</u>			
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector 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)	Daños severos. Interrupción tempora	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	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
RESULTADOS										
	Frecuencia		Consecuencia			Riesgo				
Personas	C		1			BAJO				
Económicas	C		1			BAJO				
Ambientales	C		1			BAJO				
Imagen Empresa	C		1			BAJO				
NIVEL DE RIESGO						BAJO				

Medidas para mitigarlo:

- Personal capacitado para trabajos en las instalaciones eléctricas.
- Utilización de equipos de protección personal.

Figura 18
Análisis de riesgo por electrización por equipos defectuosos.

RIESGO A EVALUAR		EVENTO: <u>Electrización</u>			FACTOR DE RIESGO: <u>Equipo defectuoso</u>		FUENTE: <u>Equipos</u>			
POTENCIAL		REAL			FRECUENCIA					
					E	D	C	B	A	
					No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa						
	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)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
RESULTADOS										
		Frecuencia		Consecuencia		Riesgo				
Personas		C		1		BAJO				
Económicas		C		1		BAJO				
Ambientales		C		1		BAJO				
Imagen Empresa		C		1		BAJO				
NIVEL DE RIESGO						BAJO				

Medidas para mitigarlos:

- Utilización de Equipos certificados
- Utilización de equipos de protección personal

Análisis del nivel de tensión requerido.

Teniendo en cuenta la capacidad de carga requerida para este proyecto, el nivel de tensión requerido es de 240/120 V.

Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas no superen los límites de exposición definidos en la tabla 14.1.

No aplica.

Cálculo de transformador incluyendo los efectos de los armónicos y el factor de potencia en la carga.

El cálculo del transformador se realiza mediante el balance general de cargas y los cuadros de carga, a su vez teniendo en cuenta los factores de demanda por el tipo de instalación (instalaciones Agrícolas), **La Tabla 22** fue sacada de la **Tabla 1**

Tabla 22

Transformadores para cada galpón de la granja

	Transformadores de cada galpón		
	Galpón1	Galpón 2	Galpón 3
Carga demandada [VA]	89053,35	53490,25	53490,25
Transformador [kVA]	100	75	75
Factor de carga [%]	89,05	71,32	71,32

Cálculo del sistema puesta a tierra.

Toda instalación eléctrica debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

Para este caso se da la cotización de la medida de la puesta a tierra a través de empresas encargadas de hacer estas mediciones.

La empresa que hace las medidas brinda el siguiente servicio:

- Medida de resistividad del terreno – método Wenner – RETIE sección 15
- Medida de resistividad acorde con IEEE 80-IEEE 81 en dos direcciones con profundidad de medición hasta 100 m.
- Personal técnico para ejecución de la medida
- Transportes hasta el sitio de medición
- Equipo de protección personal
- Protocolo de medición en 24 horas, análisis con método de dos capas IEEE 81.
- Uso de equipo con certificado de calibración trazable ONAC

A un precio de 650000 pesos colombianos sin IVA, Sin incluir el transporte hasta la granja.

Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de perdidas, las cargas resultantes y los costos de energía.

El cálculo del conductor económico se usa con el fin de seleccionar el conductor adecuado al mejor costo y con un buen desempeño de la vida útil durante la operación de la instalación.

La ecuación que determina la sección económica del conductor es la siguiente:

$$S_e = I * \sqrt{\frac{\rho * n * H * P * F_p * A * 10^{-3}}{G}} \tag{38}$$

Donde:

- S_e : Sección económica del conductor
- I : Corriente nominal en amperios
- ρ : Resistividad del material Conductor a la temperatura de operación
- n : Numero de cables activos
- H : Número de horas de operación en un año
- P : Costo de la tarifa de la energía
- F_p : Factor de perdidas
- A : Factor de tasa de interés
- G : Pendiente de precios de la recta precios vs área

Figura 19
Resistencias y reactancias de conductores

Tabla 9. Resistencia y reactancia de c.a. de cables trifásicos para 600 voltios a 60 Hz y 75°C. Tres conductores sencillos en un tubo.

Cal AWG o Kcmil	Resistencia al neutro cada 1000 pies (en ohmios)														Sección transver sal mm ²
	Reactancia (X _l) de todos los alambres		Resistencia en c.a. alambres de cobre descubiertos			Resistencia en c.a. para alambres de aluminio			Z eficaz para alambres de cobre descubiertos a FP=0,85			Z eficaz para alambres de aluminio a FP= 0,85			
	Conduit de PVC y Al	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Al	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Al	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Al	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Al	Conduit de acero	
14	0.190	0.240	10.17	10.17	10.17	---	---	---	8.86	8.86	8.86	---	---	---	2.08
12	0.177	0.223	6.56	6.56	6.56	10.49	10.49	10.49	5.58	5.58	5.58	9.19	9.19	9.19	3.30
10	0.164	0.207	3.94	3.94	3.94	6.56	6.56	6.56	3.61	3.61	3.61	5.91	5.91	5.91	5.25
8	0.171	0.213	2.56	2.56	2.56	4.27	4.27	4.27	2.26	2.26	2.26	3.61	3.61	3.61	8.38
6	0.167	0.210	1.61	1.61	1.61	2.66	2.66	2.66	1.44	1.48	1.48	2.33	2.33	2.33	13.29
4	0.157	0.197	1.02	1.02	1.02	1.67	1.67	1.67	0.951	0.951	0.984	1.51	1.51	1.51	21.14
3	0.154	0.194	0.820	0.820	0.820	1.31	1.35	1.31	0.755	0.787	0.787	1.21	1.21	1.21	26.66
2	0.148	0.187	0.623	0.656	0.656	1.05	1.05	1.05	0.623	0.623	0.656	0.98	0.98	0.98	33.62
1	0.151	0.187	0.525	0.525	0.525	0.82	0.853	0.820	0.525	0.525	0.525	0.79	0.79	0.82	42.20
1/0	0.144	0.180	0.394	0.427	0.394	0.656	0.689	0.656	0.427	0.427	0.427	0.62	0.66	0.66	53.50
2/0	0.141	0.177	0.328	0.328	0.328	0.525	0.525	0.525	0.361	0.361	0.361	0.52	0.52	0.52	67.44
3/0	0.138	0.171	0.253	0.269	0.259	0.427	0.427	0.427	0.289	0.302	0.308	0.43	0.43	0.46	85.02
4/0	0.135	0.167	0.203	0.219	0.207	0.328	0.361	0.328	0.243	0.256	0.262	0.36	0.36	0.36	107.21
250	0.135	0.171	0.171	0.187	0.177	0.279	0.295	0.282	0.217	0.230	0.240	0.308	0.322	0.328	126.67
300	0.135	0.167	0.144	0.161	0.148	0.233	0.249	0.236	0.194	0.207	0.213	0.269	0.282	0.289	152.01
350	0.131	0.164	0.125	0.141	0.128	0.200	0.217	0.206	0.174	0.190	0.197	0.239	0.253	0.262	177.34
400	0.131	0.161	0.108	0.125	0.115	0.177	0.194	0.180	0.161	0.174	0.184	0.217	0.233	0.240	202.68
500	0.128	0.157	0.089	0.105	0.095	0.141	0.157	0.148	0.141	0.157	0.164	0.187	0.200	0.210	253.35
600	0.129	0.157	0.075	0.092	0.082	0.118	0.135	0.125	0.131	0.144	0.154	0.167	0.180	0.190	304.02
750	0.125	0.157	0.062	0.079	0.069	0.095	0.112	0.102	0.118	0.131	0.141	0.148	0.161	0.171	380.02
1000	0.121	0.151	0.049	0.062	0.059	0.075	0.089	0.082	0.105	0.118	0.131	0.128	0.138	0.151	506.70

Nota. Fuente (NTC 2050, 2020, página 963)

Pasos para determinar el conductor

Paso 1 Obtener las pérdidas del conductor

$$W_c = I^2 * R_{ca} * 10^{-3} \tag{39}$$

I : Corriente nominal

R_{ca} : Resistencia eléctrica del conductor tomada de la **Figura 18**

Paso 2 Calculo Factor de perdidas

$$F_p = 0,3 * F_c + 0,7 * F_c^2 \quad (40)$$

F_c : Factor de carga por unidad

Paso 3 Calculo de pérdidas de energía en el conductor por año

$$W_c = w_c * L * N * H * F_p \quad (41)$$

w_c : Perdidas halladas en el Paso 1

L : Longitud del circuito

N : Numero de cables del sistema

H : Horas efectivas por año, tomadas de la (3500 horas)

F_p : Factor de pérdidas evaluadas en el paso 2

Paso 4 Calculo del factor del interés anual

$$A = \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n} \right] \quad (42)$$

A : Factor de anualidad

i : Interés por cada periodo

n : Numero de periodos en años

Paso 5 Calculo de variación de precios de los conductores

$$G = \left[\frac{D_2 - D_1}{S_2 - S_1} \right] \quad (43)$$

D_2 y D_1 : Precio de los calibres

S_2 y S_1 : Sección de los conductores

Paso 6 Resistividad del cobre

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha(t - 20)) \quad (44)$$

ρ_0 : Resistividad del material, para el cobre es 17,241

Paso 7 se ingresan los datos a la ecuación de S_e

Tabla 23*Datos de entrada*

I	Fc	N	H	i	n	Tarifa	Dólar	D1	D2	S1	S2	ρ_{cu}	α	t [°C]
83,74	0,7	3	3500	0,3084	10	714,59	4749,79	4894,95	10010,96	33,63	67,43	17,2	0,00393	75
83,73	0,7	3	3500	0,3084	10	714,59	4749,79	3272,56	10010,96	21,15	42,2	17,2	0,00393	75

Tabla 24*Resultado de los conductores*

Sección [mm ²]
50,58
34,78

De la **Tabla 24** para la sección de 50,58 mm² según la **Figura 18** el calibre correspondiente es 1/0 AWG y para la sección 34,78 mm² según la **Figura 18** da como resultado un calibre 2AWG

Que aplica para los conductores que alimentan los tableros de distribución de cada galpón.

Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.

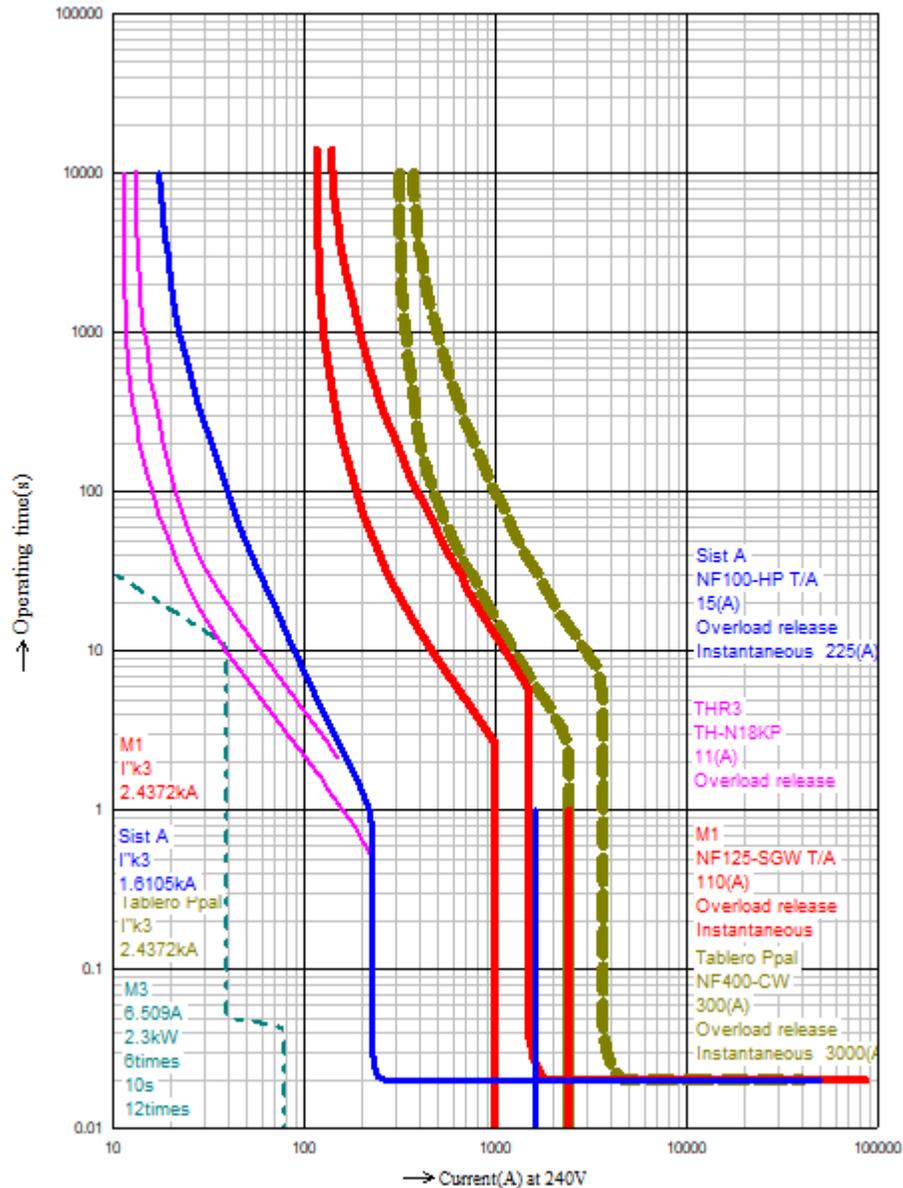
Donde se utiliza tubería tipo EMT debe usar soporte acorde con las especificaciones del fabricante por lo menos cada 1.50 metros lineales.

Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. en baja tensión se permite la coordinación de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 anexo A

La coordinación de protecciones busca dar la protección adecuada al sistema a la hora de una falla, garantizando la confiabilidad a la instalación, con una selectividad a la hora de que actúen las protecciones respectivas durante una falla

Figura 20

Curvas correspondientes a corriente de arranque del motor, relé térmico, interruptores termomagnéticos del motor y del alimentador del módulo correspondiente, dadas por el software MELSHORT2

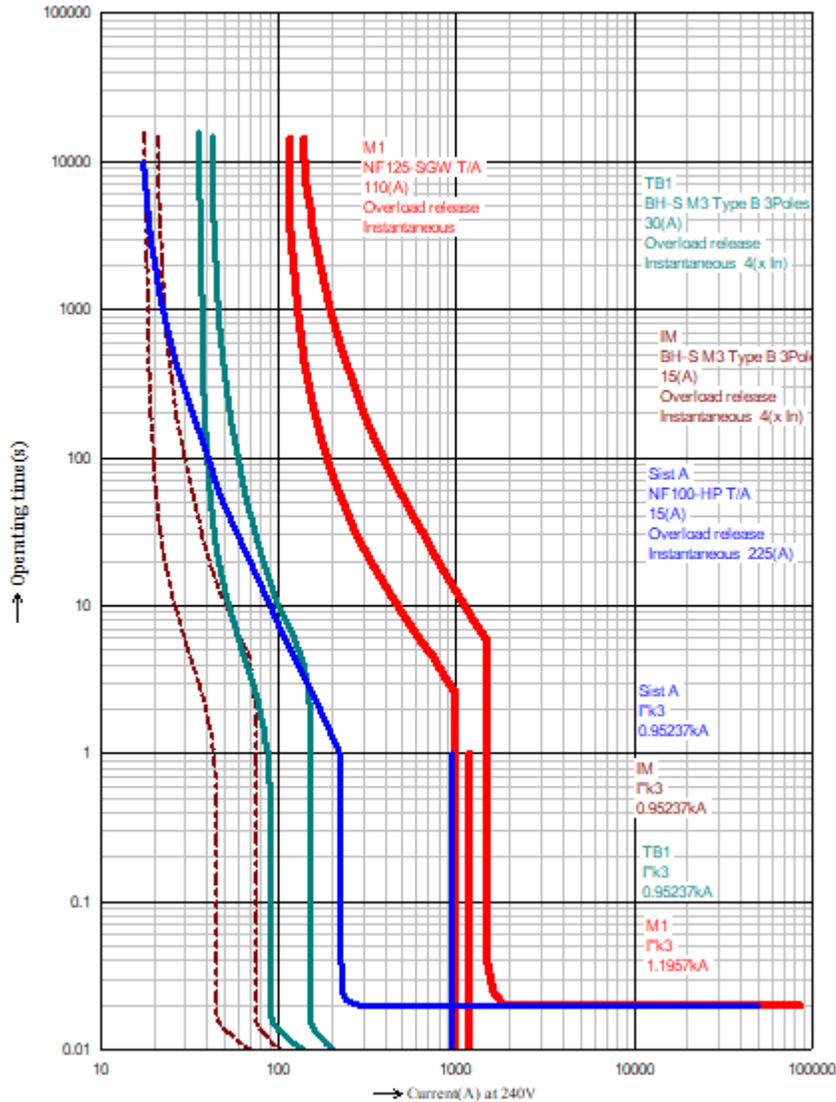


Nota. Fuente MELSHORT2

La **Figura 19** muestra la curva de la corriente de arranque del motor, la protección del motor, la protección del alimentador y la protección del tablero principal. Las curvas no se superponen lo que garantiza una adecuada coordinación de protecciones ya que da indicios de una buena selectividad a la hora de una falla.

Figura 21

Curvas de los interruptores termomagnéticos del motor, iluminación y tomas de servicio con respecto al alimentador del módulo correspondiente.



Nota. Fuente MELSHORT 2

La superposición en las curvas de diferentes no afecta la coordinación de protecciones ya que son circuitos diferentes. Hay una buena coordinación de protecciones debido a que no se superponen las curvas de los circuitos ramales con respecto a la curva del alimentador, garantizando confiabilidad y selectividad a la hora de una falla.

Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).

Los ductos a utilizar para la independización de carga será EMT como se indica en los planos y su utilización y selección del diámetro se efectúa con base a la comparación de la **Tabla 25** y la **Tabla 26**, también teniendo en cuenta que el llenado de los ductos no debe superar el 40% de ocupación de los ductos (**Figura 4**):

Tabla 25

Área de conductores THHN/THWN-2.

Calibre [AWG THHN/THWN-2]	Área [mm^2]
14	6,559724001
12	8,866831105
10	13,92047559
8	23,75829444
6	32,87747398
4	53,19729526
2	74,20316184
1/0	113,6635291
2/0	135,1940416
4/0	194,58051

Nota. Fuente <https://www.nexans.co/es/products/Construcci%C3%B3n/Cables-de-Cobre-de-Baja-Tensi%C3%B3n-Aislados/Cable-THHN-THWN-2/Cable-Type24144.html>

Tabla 26*Secciones transversales de Tuberías EMT.*

Calibre tubería EMT [Pul]	Área [mm²]
1/2	196,07
3/4	343,07
1	555,72
1 1/4	962,11
1 1/2	1313,82
2	2164,75
2 1/2	3782,76
3	5701,24
3 1/2	7450,88

Nota. Fuente (NTC 2050, 2019)

En planos anexos se muestra el plano de planta, diagrama unifilar y cuadro de carga.

Por razones de temperatura, las canalizaciones no deben estar completamente llenas, sino que deben obedecer a la tabla 9 como sigue, la cual reúne los porcentajes generales de llenado de las tuberías.

Figura 22*Porcentaje de ocupación de tubos conduit.*

Número de conductores	1	2	Más de 2
Todos los tipos de conductores	53%	31%	40%

Nota. Fuente (NTC 2050 ,2019, p. 953)

Tabla 27*Tabla de resultados de tuberías EMT en los alimentadores que van desde el tablero principal hasta los tableros de distribución de cada módulo.*

Tuberías EMT Alimentadores Galpón 1			
Circuitos	Conductores AWG	Ocupación [%]	Tubería [pul]
Alimentador M1 y M2	3x2+3x1/0+2x6	29,07	2
Alimentador M3	3x2+1x6	26,55	1 1/4
Alimentador M4 y M5	3x1/0+1x6	38,86	1 1/2

Los circuitos alimentadores del módulo 1 y el módulo 2 van en la misma tubería al igual que los circuitos alimentadores de los módulos 4 y 5, el módulo 3 está más cerca del módulo principal y este tiene su propia tubería.

Todos los circuitos ramales de cada módulo van en tubería EMT 3/4 de pulgada ya que su porcentaje de ocupación resulto menos al 40% de ocupación. La distribución se puede ver en el Plano.

Tabla 28

Tabla de resultados de tuberías EMT en los alimentadores que van desde el tablero principal hasta los tableros de distribución de cada módulo.

Tuberías EMT Alimentadores Galpón 2 y3			
Circuitos	Conductores AWG	Ocupación [%]	Tubería [pul]
Alimentador M1	3x2+1x6	29,07	1 1/4
Alimentador M2	3x2+1x6	26,55	1 1/4
Alimentador M3	3x2+1x6	38,86	1 1/4

Todos los circuitos ramales de cada módulo de los galpones 2 y 3 van en tubería EMT 3/4 de pulgada ya que su porcentaje de ocupación resulto menos al 40% de ocupación.

Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

El cálculo de perdida de energía es un cálculo con el cual se estima que tan eficiente es una instalación, en lo que corresponde a la transferencia de energía a las cargas. Los cálculos matemáticos con el cual se estima el valor de las perdidas involucran principalmente la corriente y la resistencia del conductor del circuito en estudio, debido a que las perdidas más representativas en las instalaciones de uso final se ven reflejadas en las ocasionadas por el efecto Joule.

De acuerdo a la sección (Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de perdidas, las cargas resultantes y los costos de energía) en los pasos 1,2 y 3 se obtienen las pérdidas de energía anuales.

Tabla 29

Paso 1 Calculo de las pérdidas del conductor

Calibre	Wc	I	Rca
2	4,62817582	83,74	0,66
1/0	2,73483116	83,74	0,39

Tabla 30

Paso 2 Calculo del Factor de perdidas

Calibre	Fp	Fc
----------------	-----------	-----------

2	0,553	0,7
1/0	0,553	0,7

Tabla 31*Paso 3 Resultados de pérdidas de energías anuales para el Galpón 1*

Alimentador	Calibre	WC [kwh/año]	wc	L	N	H	Fp
Tablero 2	1/0	952,787829	2,73483116	0,06	3	3500	0,553
Tablero 3	2	806,205086	4,62817582	0,03	3	3500	0,553
Tablero 4	1/0	1429,18174	2,73483116	0,09	3	3500	0,553
Tablero 1	2	3224,82035	4,62817582	0,12	3	3500	0,553
Tablero 5	2	4031,02543	4,62817582	0,15	3	3500	0,553

Tabla 32*Paso 3 Resultados de pérdidas de energías anuales para el Galpón 2 y 3*

Alimentador	Calibre	WC [kwh/año]	wc	L	N	H	Fp
Tablero 2	2	827389,669	4749,79	0,03	3	3500	0,553
Tablero 1	2	13789827,8	4749,79	0,5	3	3500	0,553
Tablero 3	2	19305758,9	4749,79	0,7	3	3500	0,553

Cálculo de regulación.

La regulación se calculará sobre la demanda máxima de diseño, aplicando la siguiente metodología. La regulación de voltaje es un parámetro que debe tenerse en cuenta para la buena realización de las instalaciones eléctricas porque de ella dependen factores como el correcto funcionamiento y la vida útil de los equipos. Es de mucha importancia que se lleven a cabo los resultados y recomendaciones aquí estipuladas para prevenir disminuciones de voltaje que puedan conllevar a resultados desfavorables en los equipos de utilización y al mismo tiempo generar situaciones de riesgo.

Los factores por corrección de temperatura son muy útiles ya que nos puede garantizar cual será el valor real de la corriente que nos puede llegar a las salidas eléctricas.

Figura 23*Factores de corrección por temperatura*

Temperatura nominal de conductor				
Temperatura ambiente (°C)	60 °C	75 °C	90 °C	105 °C
30	1,00	1,00	1,00	1,00
31-35	0,91	0,94	0,96	0,97
36-40	0,82	0,88	0,91	0,93
41-45	0,71	0,82	0,87	0,89
46-50	0,58	0,75	0,82	0,86
51-55	0,41	0,67	0,76	0,82
56-60	-	0,58	0,71	0,77
61-70	-	0,33	0,58	0,68
71-80	-	-	0,41	0,58

Nota. Fuente (NTC, 2050, p. 778)

El factor por agrupamiento de conductores también es muy importante a la hora de determinar el valor real de la corriente nominal que llegara a las salidas eléctricas de la instalación

Figura 24*Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente por una canalización.*

Cantidad de conductores ¹	Porcentaje de los valores de las Tablas 310.15(B)(16) hasta 310.15(B)(19) ajustados para la temperatura ambiente, si fuera necesario
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 y más	35

¹ La cantidad de conductores es la cantidad total de conductores en la canalización o cable, incluidos los conductores de reserva. El recuento debe ser ajustado de acuerdo con lo establecido en las secciones 310.15(B)(5) y (6). El recuento no debe incluir conductores que estén conectados a componentes eléctricos, pero que no puedan ser energizados simultáneamente.

Nota. Fuente (NTC, 2050, p. 189)

Ecuación para hallar la regulación en los conductores

$$\% \text{Regulacion} = \frac{2 * Z * l * i}{V} * 100 \quad (45)$$

Z: Impedancia del conductor

l: Longitud del circuito ramal o alimentador

i: Corriente nominal del circuito ramal o alimentador

V: Nivel de tensión

Tabla 33*Resultados de regulación de los circuitos alimentadores*

Galpón 1					
	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4	Tablero 5
Corrientes Nominales [A]	83.5	82.67	83.51	82.67	82.67
Corrientes con los factores de temperatura y agrupamiento de conductores [A]	86.45	91	86.45	91	86.45
Calibres [AWG]	2	1/0	2	1/0	2
Impedancias [Ω]	0.2	0.13	0.2	0.13	0.2
Distancias [m]	120	60	20	90	150
% Regulación	1.6702	0.5374	0,2784	0,8061	2,0669
Galpones 2 y 3					
Corrientes Nominales [A]	83.5	82.67	83.51		
Corrientes con los factores de temperatura y agrupamiento de conductores [A]	83,33	82,67	83,32		
Calibres [AWG]	2	2	2		
Impedancias [Ω]	0.2	0.2	0.2		
Distancias [m]	60	20	90		
% Regulación	0,8332	0,2756	1,2498		

Tabla 34*Regulación de los circuitos ramales de cada tablero*

Galpón 1					
Equipo	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4	Tablero 5
Sistema de arrastre	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Iluminación Módulos	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Tomacorriente de servicio 120	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Tomacorriente de servicio 240	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Iluminación pasillos	0,62		0,61		
Galpones 2 y 3					
Sistema de arrastre	0,37	0,37	0,37		
Iluminación Módulos	0,23	0,23	0,23		
Tomacorriente de servicio 120	0,84	0,84	0,84		
Tomacorriente de servicio 240	0,83	0,83	0,83		
Iluminación pasillos	0,25		0,26		

La iluminación de los pasillos se distribuye de la siguiente manera; en el tablero 1 se protege 10 unidades que iluminan la mitad de todo el galpón 1, el resto de las luminarias están protegidas desde el tablero 3 que iluminan la otra mitad del galpón 1.

En los galpones 2 y 3 se distribuyen así, en Tablero del módulo 1 está la protección para las primeras 6 luminarias y en el Tablero del módulo 2 el resto.

Tabla 35*Calibres de los conductores de los circuitos ramales [AWG]*

Galpón 1					
Equipo	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4	Tablero 5
Sistema de arrastre	12	12	12	12	12
Iluminación Módulos	12	12	12	12	12
Tomacorriente de servicio 120	10	10	10	10	10
Tomacorriente de servicio 240	10	10	10	10	10
Iluminación pasillos	12		12		
Galpones 2 y 3					
Sistema de arrastre	12	12	12		
Iluminación Módulos	12	12	12		
Tomacorriente de servicio 120	10	10	10		
Tomacorriente de servicio 240	10	10	10		
Iluminación pasillos	12		12		

Tabla 36*Regulación final de los circuitos ramales y alimentadores de cada tablero*

Galpón 1					
Equipo	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4	Tablero 5
Sistema de arrastre	2,04	0,90	0,64	1,17	2,43
Iluminación Módulos	1,90	0,77	0,51	1,04	2,30
Tomacorriente de servicio 120	2,51	1,38	1,12	1,65	2,91
Tomacorriente de servicio 240	2,50	1,36	1,10	1,63	2,89
Iluminación pasillos	2,29		0,89		
Galpones 2 y 3					
Sistema de arrastre	1,20	0,64	1,62		
Iluminación Módulos	1,06	0,51	1,48		
Tomacorriente de servicio 120	1,67	1,12	2,09		
Tomacorriente de servicio 240	1,66	1,10	2,07		
Iluminación pasillos	1,08	0,53			

La regulación de los circuitos (circuito alimentador de distribución + circuito ramal) NO supera el 3% establecido por norma.

Clasificación de áreas.

El área de este proyecto según al NTC 2050 se encuentra en la clasificación por grupos de las atmosferas de Clase I, en el grupo D (Atmósferas con gases como acetona, amoniaco, benceno, butano, ciclopropano, etanol, gasolina, hexano, metanol, metano, gas natural, nafta, propano o gases o vapores de riesgo equivalente)

Esto es debido a que en la Zona está expuesta al amoniaco que está presente en los residuos de las deposiciones de los cerdos en los galpones.

Materiales. “La chaqueta de los conductores será de THHN/THWN-2, esta chaqueta está compuesta de Policloruro de vinilo (PVC), retardante a la llama (FR), resistente al calor, abrasión y la humedad, resistente a los rayos solares (SR) en color negro, libre de sustancias peligrosas (RoHS)” (CENTELSA by Nexans, 2023, parr. 3)

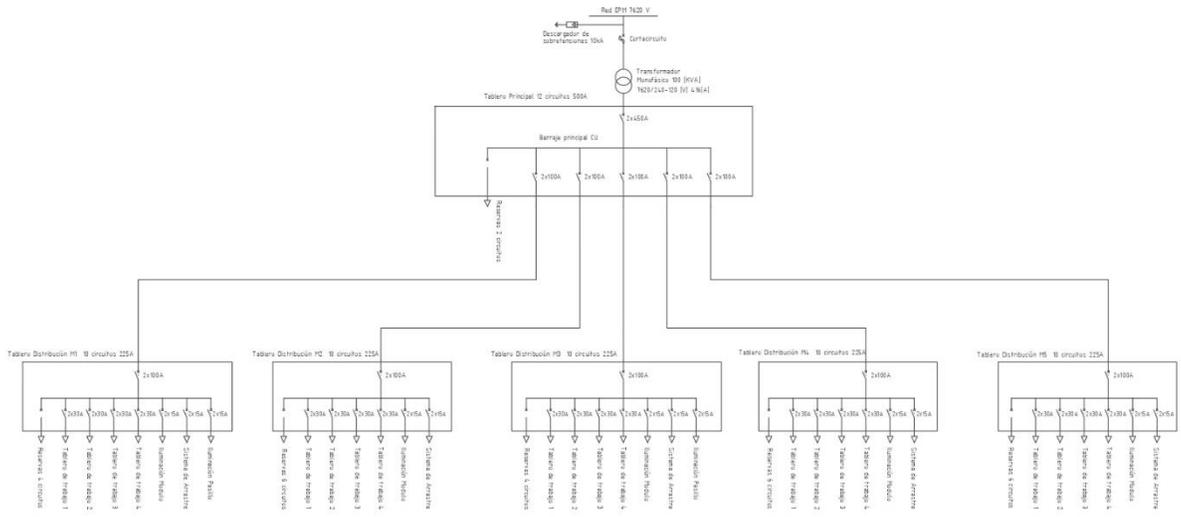
Su utilizara tubería EMT con una capa de pintura anticorrosiva que no permite que el amoniaco las perjudique.

Todas las salidas de tomas que estén expuestas tendrán una tapa contra intemperie para evitar la pérdida de su vida útil.

Elaboración de diagramas unifilares.

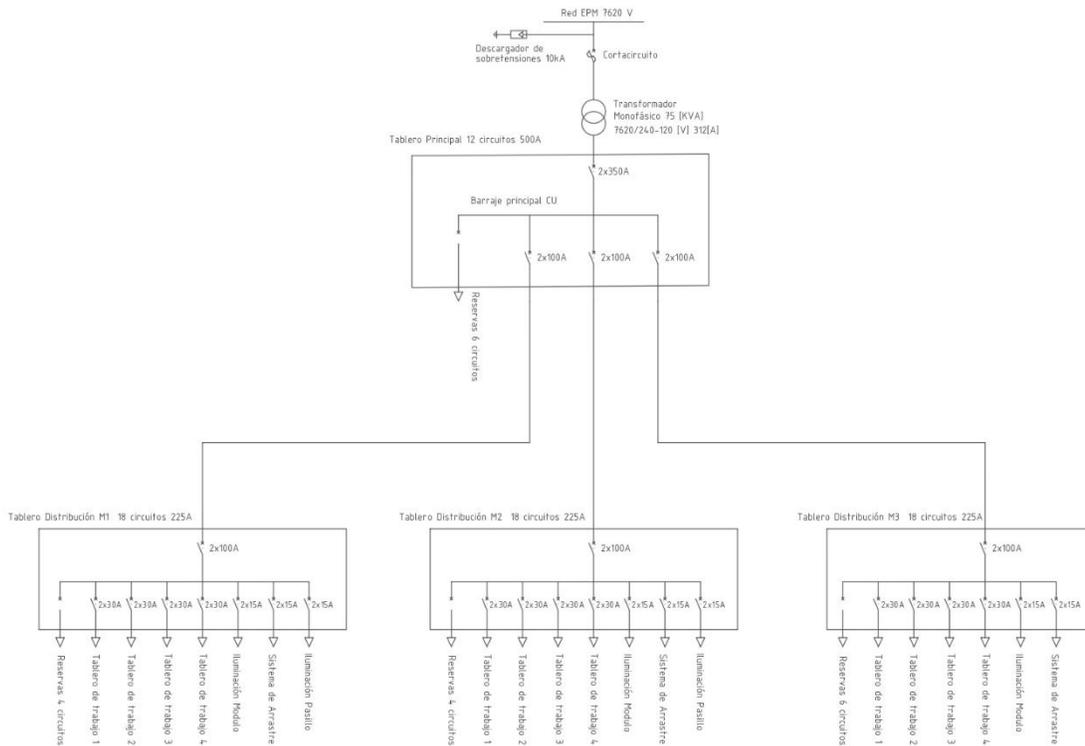
La distribución de cargas es igual para cada módulo de los tres galpones, las diferencias se dan en que en algunos módulos alimentan las luces de los pasillos y otros no.

Figura 25
Diagrama unifilar Galpón 1



Nota. Fuente AutoCAD

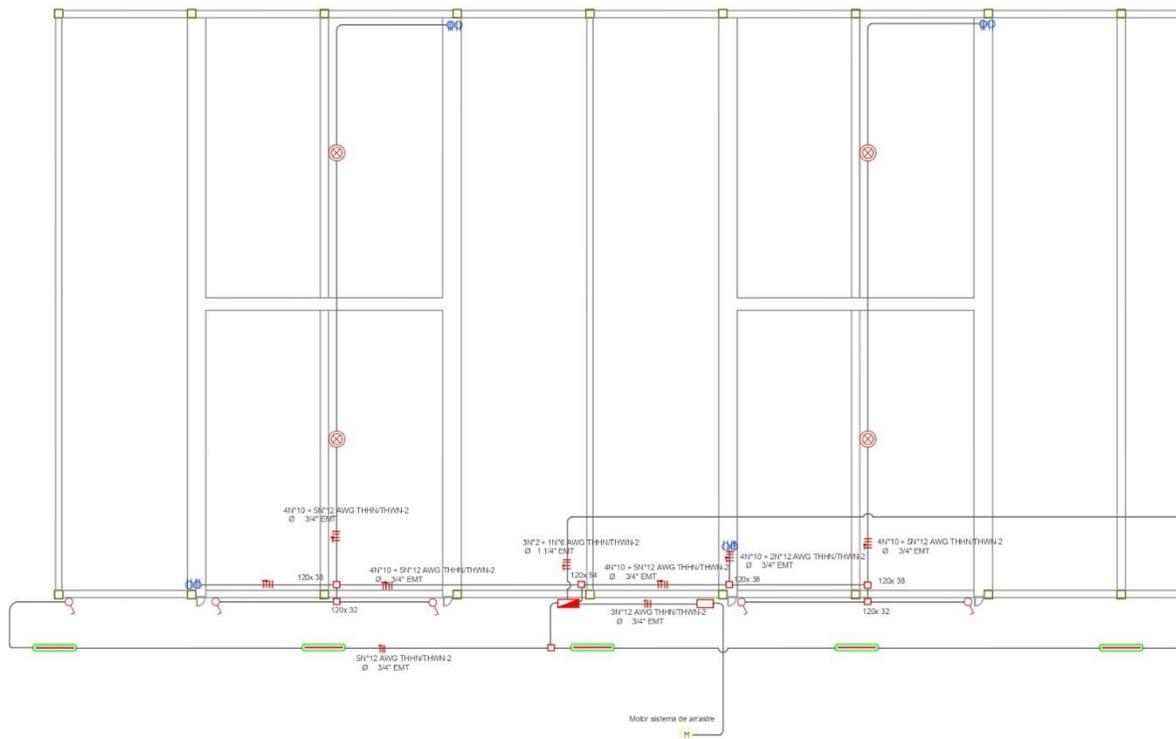
Figura 26
Diagrama unifilar galpones 2 y 3



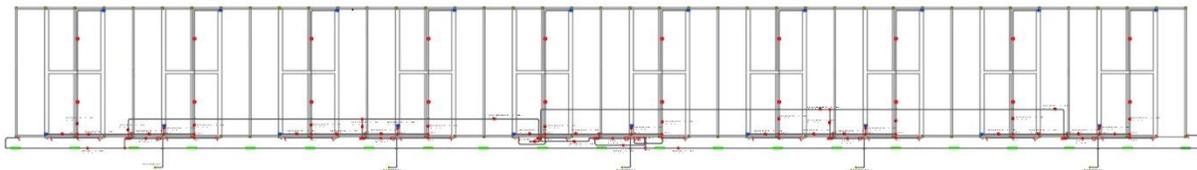
Nota. Fuente AutoCAD

Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.

A manera de ejemplo se muestra la distribución del módulo 1 del galpón 1, en todos los módulos están compuestos de las mismas cargas, la diferencia es que en algunos módulos alimentan la iluminación en el pasillo. En el galpón 1, la iluminación de pasillo está conectada así, la mitad de la cantidad de luminarias en el módulo 1 y el resto en el módulo 3. En los galpones 2 y 3, la primera mitad modulo 1 y el resto modulo 2.

Figura 27**Esquema eléctrico del Módulo 1 del Galpón**

Nota. Fuente AutoCAD

Figura 28**Esquema eléctrico galpón 1**

Nota. Fuente AutoCAD

Figura 29*Cuadro de convenciones*

CONVENCIONES			
	Interruptor conmutable		Tablero de Principal
	Iluminacion high Bay 220V 150W		Tablero de distribución
	Luminaria LED hermética 220 V 40W		Toma 240 V 2F
	Caja de paso y de empalme		Toma 120 V 1F
	Motor Sistema de Arrastre		Tablero de control
	Tubería EMT Galvanizada		Tierra, neutro y fase

Nota. Fuente AutoCAD

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

Ver Plano

Establecer distancias de seguridad.

No aplica para este proyecto, ya que la red de distribución del Operador de Red se encuentra en cable trenzado.

El tablero interno se encuentra ubicado en un espacio libre de obstáculos y de fácil acceso para la manipulación por parte de personal técnico de la granja.

Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

No aplica

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.

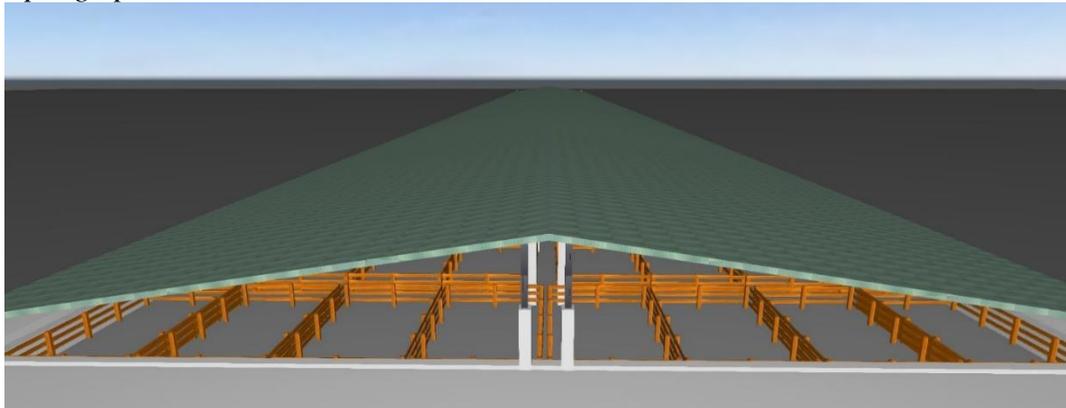
Diseño de iluminación en los galpones de acuerdo con el RETILAP

El personal técnico de la granja, los coordinadores de la granja dieron especificaron las cantidades de luminarias a utilizar en las instalaciones de los galpones, estas cantidades de luminarias son dadas por la experiencia y la comodidad a la hora de trabajar en los galpones

Módulos. En los módulos la iluminación se hace necesaria para que el personal de la granja pueda verificar el estado de los cerdos, también para que los cerdos sigan alimentándose por las noches y suba de kilos rápidamente.

Figura 30

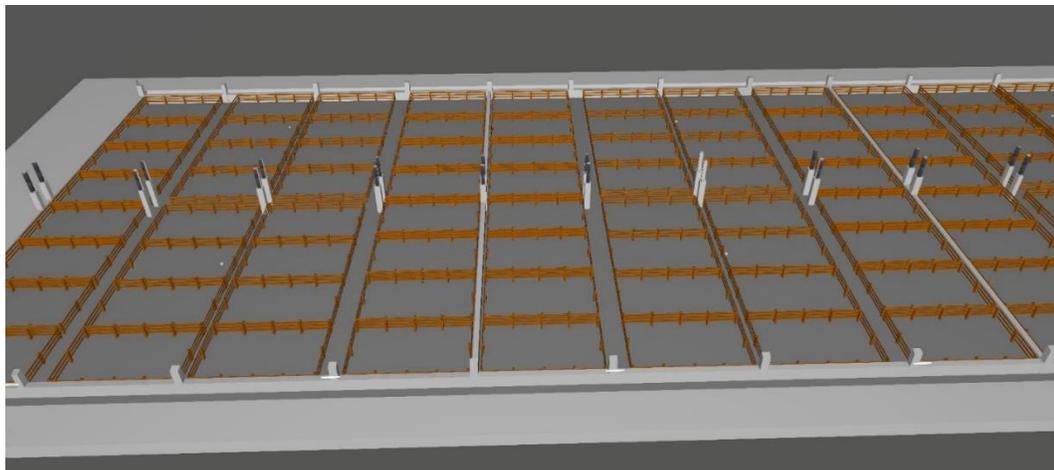
Vista principal galpón en DIALux evo



Nota. Fuente software DIALux evo.

Figura 31

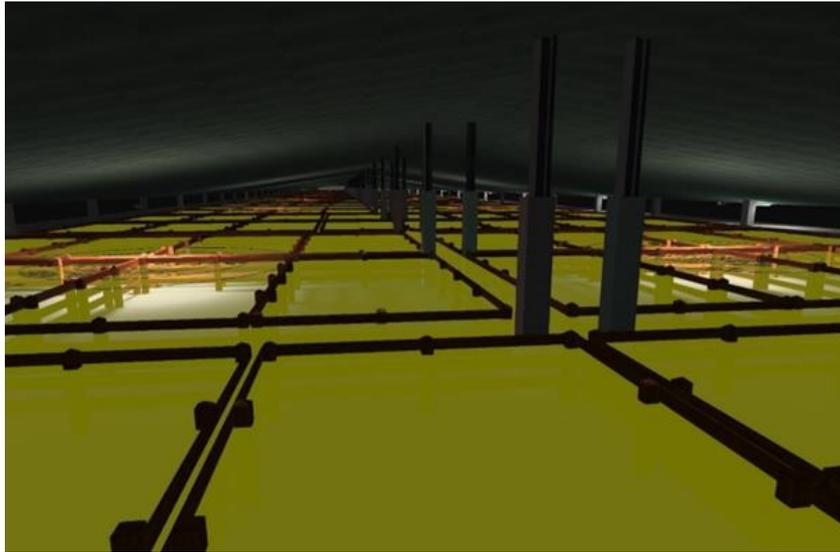
Vista de un módulo del galpón en DIALux evo



Nota. Fuente software DIALux evo.

Esta zona tiene las dimensiones de 60 x 30 metros, cada módulo van 4 luminarias High bay (el galpón está conformado por 5 módulos) a una altura de 2,5 m. En esta zona es donde los cerdos estarán por cierto tiempo bajo el cuidado de los trabajadores de la granja.

Figura 32
Iluminación módulos del galpón en DIALux evo



Nota. Fuente software DIALux evo.

Tipo de Luminaria. Se utilizó la luminaria High Bay 150W

Figura 33
Características dadas por el fabricante para luminaria high bay.

Dimensiones (mm)
Diámetro: Ø290; Alto: 190.

Color
Negro Semi mate.

Características técnicas

LED	117°	50,000h	IP 65	IK 06
PF 0,99	THD <15%	°C -40-55	V 100-277	Dim 1-10V

Fuente de luz
Módulo de LED integrado.

Potencia Nominal	CRI	K	Lm / W	Lm de Salida
150W	>80	5000	126	19068

Características de fuente de luz

- Color temperatura disponible 5000K (luz día).
- Protección 4KV contra sobretensiones.
- Potencia de Salida: 151W.

Nota. Fuente <https://www.distecsa.com/productos/industriales/industriales/messina-240w-5k/21/10/902>

Informe de iluminación. La altura de plano útil es de 0 metros, para garantizar las inspecciones visuales en los animales

Figura 34

Flujo luminoso en los módulos con DIALux evo.

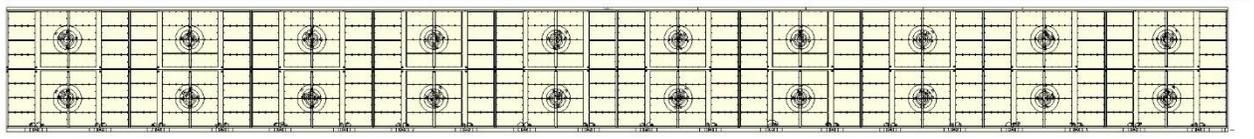
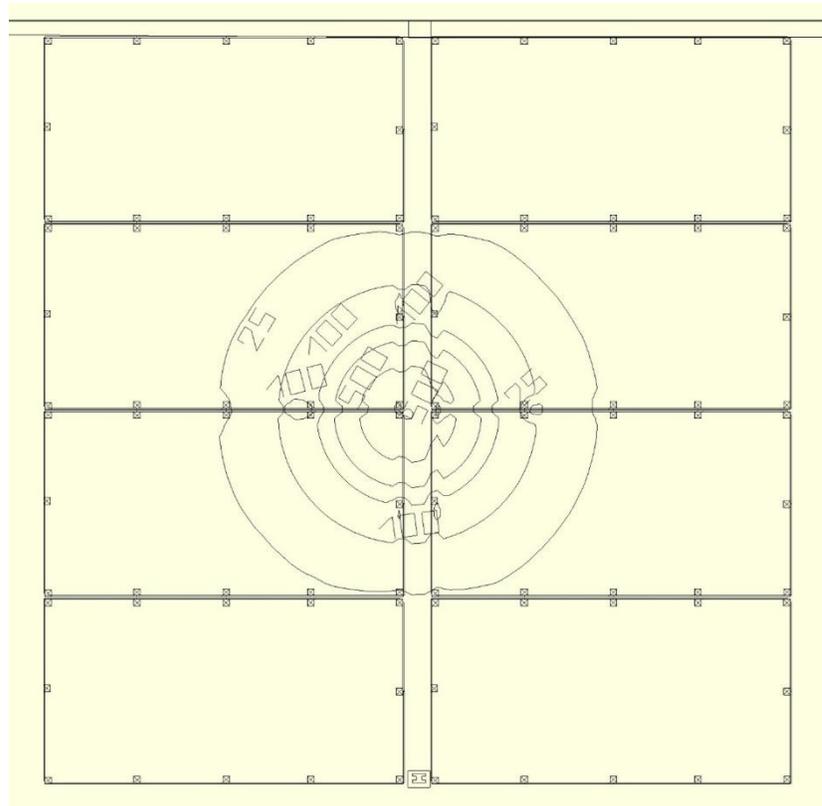


Figura 35

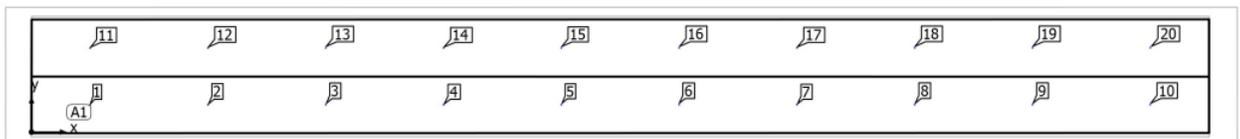
Zoom flujo luminoso en los módulos con DIALux evo.



Nota. Fuente software DIALux evo.

Figura 36

Posición de cada luminaria en los módulos con DIALux evo.



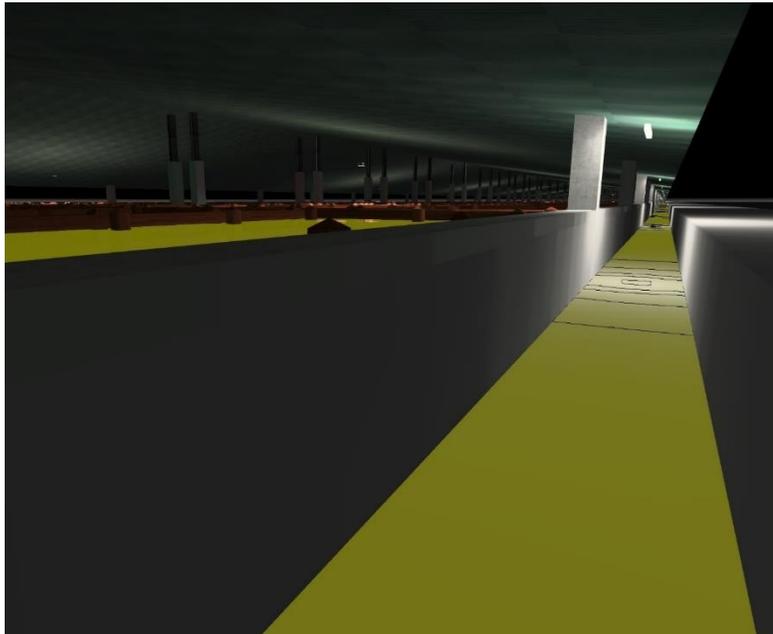
Nota. Fuente software DIALux evo.

Como resultado el Dialux dio los lux promedios de 22.9 lx en todo el galpón, este dato no se puede corroborar en la tabla 410.1 del RETILAP porque no aparece un valor determinante que se ajuste a este tipo de instalaciones y también porque el personal encargado de la granja determino la cantidad de luminaria por razones económicas.

Pasillo. La iluminación en el pasillo es necesaria porque el personal de la granja lo utilizan en las horas de la madrugada para embarcar y desembarcar los cerdos en el galpón. En esta zona se utilizarán un total de 20 lámparas.

Figura 37

Pasillo iluminado con DIALux evo.



Nota. Fuente software DIALux evo.

Esta zona es de 1 x 300 metros, las luminarias estarán instaladas a una altura de 2,5 metros.

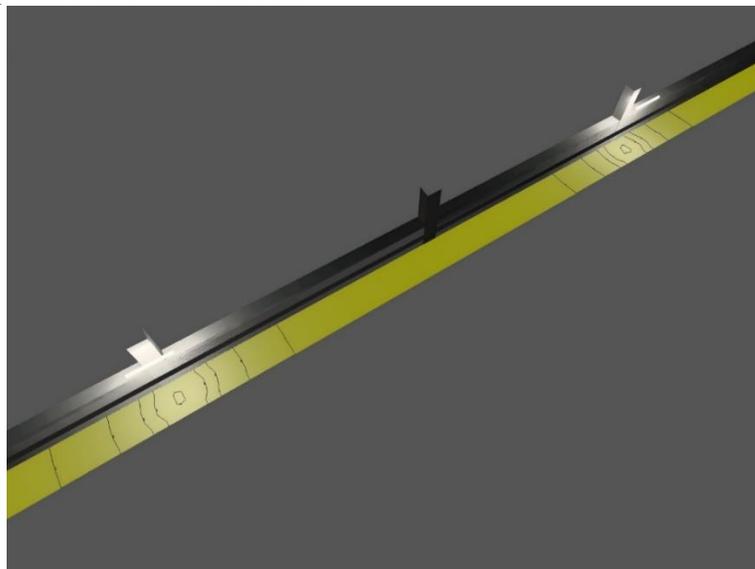
Tipo de Luminaria. Se utilizarán las luminarias herméticas de 40 W

Figura 38*Características dada por el fabricante para luminaria hermética*

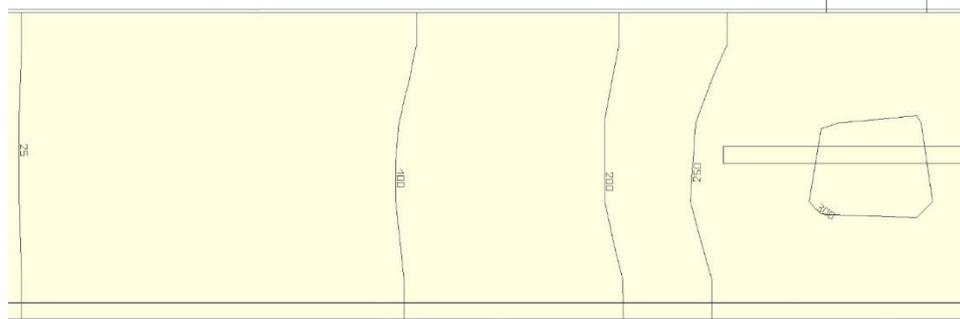
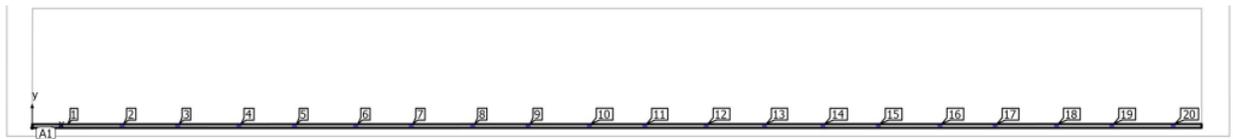
Dimensiones (mm)		Color	
Largo: 1200; Ancho: 65 Alto: 75.		Blanco.	
Características técnicas			
LED	117°	IP 65	IK 08
120-277 V	0-55 °C		
Fuente de luz			
Longitud de la regleta: 1194mm.			
Potencia	CRI	K	Lm
14W - 50W	>80	3000	Según módulo LED
<i>Opción fuente regulable 1-10V o DALI.</i>			
Características de fuente de luz			
<ul style="list-style-type: none"> Colores temperatura disponibles 3000K (cálido), 4000K (neutro) y 5000K (luz día). Para conocer el flujo y la potencia de los módulos de LED con el cual se desea diseñar, debe remitirse a su ficha técnica. 			

Nota. Fuente software DIALux evo.

Informe de iluminación. La altura de plano útil es de 0 metros, para garantizar las inspecciones visuales en los animales.

Figura 39*Simulación en pasillo con DIALux evo.*

Nota. Fuente software DIALux evo.

Figura 40*Zoom en simulación en pasillos con DIALux evo.**Nota.* Fuente software DIALux evo.**Figura 41***Posición de cada luminaria en el pasillo con DIALux evo.**Nota.* Fuente software DIALux evo.

Como resultado el DIALux dio un lux promedio en los pasillos de 52,6 lx valor mayor por el mínimo dado para los pasillos en el RETILAP, lo cual cumple para esa zona.

Presupuesto

En el presupuesto no se tuvo en cuenta la mano de obra y las herramientas por que la empresa ya cuenta con estos. La cotización se hizo con 2 empresas del sector, se escogió la que ofrece el coste más bajo de los mismos materiales.

Tabla 37*Presupuesto de materiales de la instalación eléctrica.*

Materiales	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Total
Conductores AWG THHN/THWN n°12	m	2176	9000	19.584.000
Conductores AWG THHN/THWN-2 n°10	m	3418	8000	27.344.000
Conductores AWG THHN/THWN-2 n°6	m	9700	740	7.178.000
Conductores AWG THHN/THWN-2 n°2	m	20400	1800	36.720.000
Conductores AWG THHN/THWN-2 n°1/0	m	33086	400	13.234.400
Coraza Americana 3/4"	m	6030	220	1.326.600
Tubo Galvanizado EMT 3/4"	UND	28568	880	25.139.840
Tubo EMT Galvanizado 1 1/4"	UND	66957	50	3.347.850
Tubo EMT Galvanizado 1 1/2"	UND	73856	5	369.280
Tubo EMT Galvanizado 2"	UND	93710	45	4.216.950
Curvas Galvanizada EMT 3/4"	UND	1800	70	126.000

Curvas Galvanizada EMT 1 1/4"	UND	7432	8	59.456
Curvas Galvanizada EMT 1 1/2"	UND	9581	8	76.648
Curvas Galvanizada EMT 2"	UND	13968	4	55.872
Entrada a caja EMT 3/4"	UND	1375	270	371.250
Entrada a caja EMT 1 1/4"	UND	4646	8	37.168
Entrada a caja EMT 1 1/2"	UND	4877	8	39.016
Entrada a caja EMT 2"	UND	6305	4	25.220
Union EMT 3/4"	UND	1437	880	1.264.560
Union EMT 1 1/4"	UND	4652	50	232.600
Union EMT 1 1/2"	UND	5225	5	26.125
Union EMT 2"	UND	6975	45	313.875
LV-5320-W Toma doble WID0002	UND	4050	45	182.250
Toma 3X50 CODELCA con placa	UND	20059	45	902.655
interruptor Sencillo	UND	5979	50	298.950
Luminaria High Bay 150W 5K	UND	137975	45	6.208.875
Luminaria hermética 40W 4K	UND	39000	45	1.755.000
Cajas empalme 12X12X5 tapa lisa	UND	14000	80	1.120.000
Cajas empalme perforación toma	UND	9100	45	409.500
Cajas empalme perforación interruptor sencillo	UND	14000	50	700.000
Conduletas Tipo LB 3/4"	UND	7499	45	337.455
Conduletas Tipo T 3/4"	UND	8959	45	403.155
Conduletas Tipo LB 1 1/4"	UND	22889	12	274.668
Conduletas Tipo LB 2"	UND	48040	4	192.160
Espaciadores 3/8 x 3 metros	UND	13430	114	1.531.020
Perfil Mecano Ranurado 2x4	UND	65347	114	7.449.558
fijador para tubo en mecano 3/4"	UND	1705	220	375.100
soporte horquilla 3/4"	UND	5080	795	4.038.600
soporte horquilla 1 1/4"	UND	5837	180	1.050.660
soporte horquilla 2"	UND	7194	90	647.460
Extensión para soporte de horquilla	UND	1999	1600	3.198.400
Tableros 2F 18 circuitos con totalizador Tercol	UND	339610	11	3.735.710
Tablero Principal autosoportados 12 circuitos	UND	3882036	3	11.646.108
Prensa estopa 3/4	UND	3504	50	175.200
Conector resorte rojo	UND	778	300	233.400
Terminal tipo ojo n° 12	UND	322	50	16.100
Terminal tipo ojo n° 10	UND	322	50	16.100
Borna Terminal tipo ojo n° 2 90A	UND	3405	30	102.150
Borna Terminal tipo ojo n° 1/0 125 A	UND	5597	20	111.940
Cinta Temflex 165 19 mmx18 metros	UND	4703	30	141.090

abrazaderas plásticas	UND	4600	30	138.000
Tornillos autoperforantes	UND	9500	200	1.900.000
Grapa Galvanizada 3/4"	UND	244	50	12.200
Tableros de trabajo 30x15x18 Tomas 2x20 + 3x50A	UND	57000	44	2.508.000
Interruptor termomagnético HOMELINE 2x15 A	UND	51820	28	1.450.960
Interruptor termomagnético HOMELINE 2x30 A	UND	37390	44	1.645.160
Interruptor termomagnético EZC100n3100 3x110 A	UND	152200	11	1.674.200
Interruptor termomagnético EZ400N3320N 3x320 A	UND	857910	2	1.715.820
Interruptor termomagnético EZ400N3400N 3x400 A	UND	610767	1	610.767
Cable acero galvanizado 1/16 "	m	1200	220	264.000
Grillete 1/8	UND	1975	90	177.750
Pintura Anticorrosiva	UND	67900	50	3395000
Total				203.833.831

El coste final de materiales para todas las instalaciones solo desde el tablero principal aguas abajo es de 203.833.831 millones de pesos colombianos.

5 Conclusiones

Con base al RETIE, NTC 2050, RETILAP y la información recolectada en la granja se hizo un diseño acorde a las cargas que se utilizaran en los galpones, dimensionando bien los conductores de acuerdo a las cargas que se van alimentar, cumpliendo los porcentajes de ocupación permitidos para la canalización de los conductores, niveles de iluminación, todos los ítem del diseño detallado que aplican en esta instalación.

Se afianzaron diferentes conocimientos en áreas relacionadas con la ingeniería eléctrica tales como: instalaciones eléctricas de usuario final, costos y presupuestos. En el diseño detallado de una instalación eléctrica de uso final, en el diseño de iluminación, y en la cotización de materiales.

Se pusieron en prácticas el uso de herramientas ofimática y softwares necesarios para el diseño eléctrico tales como: AutoCAD, muy útil para hacer los planos eléctricos, DIALux evo, versátil para el diseño de iluminación y Excel, utilizado para los cálculos matemáticos necesarios para el diseño de la instalación eléctrica.

Se hizo un presupuesto acorde a los precios hoy día de los materiales necesarios para la construcción de las instalaciones eléctricas de los galpones de la granja.

Con base a la NTC 4552-2, NTC 4552-1 y la información recolectada en la granja se pudo hacer un análisis de riesgo por riesgo de pérdidas de vidas humanas, riesgo de pérdidas económicas y riesgo de pérdidas del patrimonio de la empresa, las medidas tomadas (Nivel IV apantallamiento, Equipontecialización del suelo, salidas de emergencia, DPS adecuado, etc.) nos garantizan una baja probabilidad de que estos riegos sean perjudiciales después de una descarga en la estructura.

Se determinaron los materiales y dispositivos adecuados como la chaqueta de los conductores, tuberías con pintura anticorrosiva, luminarias herméticas, tomas contra intemperie, etc. para este tipo de instalación, ya que en esta se requiere materiales especiales debido a la alta concentración de animales y también a la exposición al amoniaco que es altamente corrosivo.

Referencias

- Ministerio de Minas y Energía de la república de Colombia. (2015). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE*. Ministerio de Minas y Energía de la república de Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía de la república de Colombia. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP*. Ministerio de Minas y Energía de la república de Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2019). *Código Eléctrico Colombiano, (NTC 2050)*. En ICONTEC. <https://tienda.icontec.org/gpd-pb-9-codigo-electrico-colombiano-ntc-2050-segunda-actualizacion.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2008). *Protección contra el rayo. Parte 2: Evaluación del riesgo, (NTC 4552-2)*. En ICONTEC. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-proteccion-contra-el-rayo-parte-2-evaluacion-del-riesgo-ntc4552-2-2023.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2008). *Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales, (NTC 4552-1)*. En ICONTEC. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-proteccion-contra-el-rayo-parte-1-principios-generales-ntc4552-1-2022.html>
- Autodesk (2022). *Diseño Asistido por Computadora AutoCAD (Versión 2022)* [software]. Autodesk.
- MITSUBISHI ELECTRIC (2023). *MITSUBISHI MELSHORT 2 (Version 1.30)* [software]. MITSUBISHI ELECTRIC
- DIAL (2023). *DIALux evo (Versión 11.0)* [software]. DIAL.
- Centelsa by Nexans. (2023). *Cables de cobre en baja tensión aislados*. En Centelsa by Nexans <https://www.nexans.co/es/products/Construcci%C3%B3n/Cables-de-Cobre-de-Baja-Tensi%C3%B3n-Aislados/Cable-THHN-THWN-2/Cable-Type24144.html>
- Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria, Y., Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. (2003). *Manual de porcicultura*. En AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13292>
- ICA. (2007). *Condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado a sacrificio para consumo humano (resolución 002640)*. En ICA. <https://www.ica.gov.co/getdoc/016f3c96-a458-4fa6-ae96-41d18b2221f5/requisitos-sanitarios-y-de-inocuidad-en-la-producc.aspx>