

Memoria de Cálculos – Taller PRAC

Propuesta de mejoramiento del sistema eléctrico de un taller industrial de la empresa
PRAC incorporando soluciones para el uso eficiente de la energía

Autor(es)

Jesús Eduardo Parra Acevedo

Henry Leonardo Villamil Sánchez

Leidy Vanesa Ramírez Jaime

Universidad Industrial de Santander.

Bucaramanga - Santander

Trabajo de grado

Marzo 2026.

Contenido

Descripción del Proyecto	4
Objetivo.....	4
Disponibilidad de Energía.....	5
A. Analisis de cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo el análisis de factor de potencia y armónicos.	5
Distribución de Tableros	5
Tablero de carga administrativa.	5
Tablero de carga taller.....	6
Tablero de carga bodegas y parqueadero.	6
Análisis de Factor de Potencia y Armónicos	6
Factor de potencia.	6
Armónicos.....	7
B. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico	7
C. Analisis de cortocircuito y falla a tierra	7
D. Análisis del Nivel de Riesgo por Rayos y Medidas de Protección contra Rayos	8
E. Análisis de Riesgos de Origen Eléctrico y Medidas para Mitigarlos	9
Medidas Preventivas en Baja Tensión – Tableros Eléctricos	9
Medidas en Cables, Clavijas, Conexiones, Empalmes y Enchufes.....	9
F. Análisis del Nivel de Tensión Requerido	10

G. Cálculo de Campos Electromagnéticos	10
H. Cálculo de Transformadores	11
I. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra.....	11
Especificaciones del Diseño del SPT	12
J. Cálculo de Conductores.....	12
Factores de Corrección de Temperatura Ambiente y Número de Conductores por Canalización.....	13
K. Verificación de los Conductores	15
Acometida Principal.....	15
Alimentador desde TGBT a Tablero del Taller	15
Alimentador desde TGBT a Tablero de Bodegas	15
L. Cálculo mecánico de estructura y elementos de sujeción de equipos	16
Diseño Mecánico de Estructuras	16
Selección de Estructuras	16
M. Cálculo y Coordinación de Protecciones.....	20
N. Cálculos de Canalizaciones.....	21
O. Cálculos de Pérdidas de Energía	22
P. Cálculos de Regulación	22
Q. Clasificación de áreas.....	23
R. Diagramas Unifilares.....	23

S. Elaboración de planos y esquemas eléctricos de construcción 23

 Elaboración de Planos 24

T. Especificaciones de construcción24

U. Distancias de Seguridad24

 Distancias Mínimas en Zonas con Construcciones 24

 Distancias Mínimas para Trabajos en o Cerca de Partes Energizadas 25

V. Justificación de técnica de desviación de la NTC 2050 25

W. Otros Estudios: Diseño de Iluminación..... 25

Resumen

El presente documento resume la memoria de cálculos del diseño eléctrico, del sistema de iluminación y de la infraestructura de comunicaciones para las instalaciones de PRAC en el municipio de Paipa, Boyacá, las cuales incluyen áreas administrativas, bodegas, taller industrial y zonas de parqueo, y que actualmente operan con un único suministro eléctrico, lo que limita la medición independiente del consumo, especialmente en el taller.

En este contexto, se propone un diseño basado en una carga instalada de 50 kVA, organizado en dos sistemas independientes, uno para el taller industrial y otro para las bodegas y el parqueadero, con el fin de mejorar el control y la gestión energética, mientras que el desarrollo técnico contempla el análisis de riesgos eléctricos, el cálculo de conductores, canalizaciones, protecciones, regulación y pérdidas de energía, así como el diseño de iluminación conforme al RETILAP, e incorpora además un estudio de eficiencia energética mediante la evaluación y corrección del factor de potencia, todo ello bajo el cumplimiento de la NTC 2050, el RETIE (Resolución 40117 de 2024), el RETILAP (Resolución 40150 de 2024) y las especificaciones del operador de red EBSA.

Palabras clave: diseño eléctrico, NTC 2050, RETIE, RETILAP, puesta a tierra, iluminación LED, carga instalada.

Descripción del Proyecto

El proyecto consiste en el diseño eléctrico integral de las instalaciones de PRAC en Paipa, Boyacá, incluyendo el sistema de distribución de energía, iluminación y comunicaciones, con el objetivo de mejorar el control y la gestión del consumo energético en sus diferentes áreas.

Para ello, se plantea una solución basada en una carga instalada de 50 kVA, distribuida en dos sistemas independientes, uno para el taller industrial y otro para las bodegas y el parqueadero, permitiendo una medición más precisa, además se incorporan estudios técnicos como el análisis de riesgos eléctricos, el dimensionamiento de la instalación y un análisis de eficiencia energética mediante la evaluación y corrección del factor de potencia, todo bajo el cumplimiento de la normativa vigente.

Objetivo

Presentar el diseño técnico de las instalaciones eléctricas, iluminación y comunicaciones de PRAC en Paipa, con el fin de organizar una carga de 50 kVA en dos sistemas independientes y garantizar una infraestructura segura, eficiente —incluyendo la mejora del factor de potencia— y conforme a los requisitos del operador de red EBSA.

Normas y Códigos Aplicables

Para el desarrollo del diseño se tomaron como referencia las siguientes normas y reglamentos:

- Norma Técnica Colombiana (NTC 2050).
- Resolución 40117 de 2 de abril de 2024 – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

- Resolución 40150 de 3 de mayo de 2024 – Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).
- Normas del operador de red EBSA y base de datos LIKINORMAS de CODENSA (referencia técnica).

Todos los materiales y equipos deben estar certificados por la autoridad competente. Es igualmente válido el uso de normas internacionales reconocidas como ANSI, IEEE, IEC, NFPA 70 y NEC con el fin de complementar el proceso de diseño,

Disponibilidad de Energía

El servicio de energía eléctrica en el municipio de Paipa, Boyacá, es prestado por el operador de red (OR) EBSA. Se presentará ante dicho operador la información necesaria para realizar los estudios de factibilidad, incluyendo el dimensionamiento de la carga requerida de 50kVA.

A. Análisis de cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo el análisis de factor de potencia y armónicos.

A partir de los elementos encontrados en la empresa se realizó un informe de levantamiento eléctrico del taller con el fin de establecer las cargas iniciales con las que cuenta la edificación, sus posibles riesgos y oportunidades de mejora, todo esto está mejor desarrollado en el apéndice D.

Con esto el diseño eléctrico del taller PRAC se basó en una carga instalada total aproximada de 65 kVA, distribuida en dos sistemas independientes para garantizar la calidad de la energía y la protección de equipos sensibles, tales como son motores y equipos de alto consumo energético.

Distribución de Tableros

Tablero de carga administrativa.

Este tablero alimenta exclusivamente las estaciones de trabajo en la zona de administrativa: equipos de cómputo, servidores de comunicaciones y dispositivos electrónicos de precisión. Cabe aclarar que esto ya es existente pero se tiene en cuenta para estudios posteriores ante el operador de red.

Tablero de carga taller.

Este tablero gestiona la infraestructura general del taller, incluyendo:

- Sistema de iluminación LED de alta eficiencia.
- Iluminación de emergencia autónoma.
- Tomacorrientes de uso general y tomas GFCI para zonas húmedas o exteriores.
- Motores y equipos de alto impacto energético.

Tablero de carga bodegas y parqueadero.

Este tablero gestiona la infraestructura general del taller, incluyendo:

- Sistema de iluminación LED de alta eficiencia.
- Iluminación de emergencia autónoma.
- Tomacorrientes de uso general y tomas GFCI para zonas húmedas o exteriores.

Análisis de Factor de Potencia y Armónicos

Factor de potencia.

Se estima un factor de potencia inicial de 0,95, considerando que la mayor parte de la carga corresponde a iluminación LED y equipos de cómputo con fuentes conmutadas compensadas. Sin

embargo en el taller se hace un estudio de eficiencia energética y se encuentra con que el factor de potencia estimado es de 0.85. A partir de este diagnóstico, se determinó la necesidad de implementar un sistema de compensación de potencia reactiva, logrando establecer una solución técnica adecuada mediante el dimensionamiento de un banco de capacitores de 10 kVAr, capaz de mejorar el factor de potencia hasta valores cercanos a 0.95.

Armónicos.

Dado que existen cargas no lineales provenientes del edificio administrativo principalmente, se opta por utilizar un cable neutro en las instalaciones a excepción de las cargas que requieren de motores trifásicos debido a la redundancia de este, con esto se garantiza que se mitiguen las corrientes del tercer armónico.

B. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico

Las redes de distribución de energía EBSA están diseñadas y construidas cumpliendo con normativas y estándares específicos, como los que se mencionan en Normas De Diseño De Redes De Distribución De Energía Eléctrica versión 03, y puesto que el proyecto ya dispone de una red de media tensión establecida y diseñada, no aplica llevar a cabo el análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.

C. Analisis de cortocircuito y falla a tierra

El análisis de cortocircuito y falla a tierra se realizó en los nodos principales del sistema eléctrico, aplicando la metodología establecida en la norma IEC 60909, considerando la falla trifásica como la condición más crítica para la evaluación de corrientes de cortocircuito.

A partir de este análisis, se determinaron los niveles de corriente de falla en los diferentes puntos del sistema, permitiendo verificar la capacidad de interrupción de los dispositivos de

protección y la adecuada selección de conductores, en concordancia con las condiciones de operación y seguridad del sistema.

Asimismo, se consideraron fallas a tierra, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema ante este tipo de eventos y garantizar la correcta actuación de las protecciones asociadas. Los resultados obtenidos permiten asegurar la coordinación entre conductores, interruptores y protecciones, conforme a los nodos definidos en los diagramas unifilares.

Lo anterior se encuentra desarrollado en el apéndice J de la carpeta anexa al documento.

D. Análisis del Nivel de Riesgo por Rayos y Medidas de Protección contra Rayos

Las descargas eléctricas atmosféricas representan una de las mayores perturbaciones electromagnéticas para los sistemas eléctricos y de comunicaciones. Según el RETIE, artículo 16, la protección debe basarse en la evaluación del nivel de riesgo mediante la metodología de la NTC 4552.

Para el taller PRAC se realizó la evaluación del Sistema de Protección contra Rayos, determinando que no es necesaria la implementación de apantallamiento externo con base en los siguientes criterios técnicos:

- Resultado de la evaluación de riesgo: tras el análisis de los componentes de riesgo R1, R2, R3 y R4 según la NTC 4552, el riesgo calculado es inferior al riesgo tolerable ($R < R_T$), por lo cual la estructura se considera protegida por su entorno y características constructivas.
- Alcance del diseño: el presente documento se centra en la infraestructura eléctrica interior, el sistema de comunicaciones, la iluminación y la legalización de la acometida para una carga de 75 kVA.

- Entorno y blindaje natural: la ubicación cuenta con edificaciones colindantes y postes de servicios públicos que actúan como elementos de blindaje, reduciendo la probabilidad de impactos directos sobre el mismo, además del edificio administrativo que ya cuenta con sistemas de protección contra rayos y debido a que su altura es mucho mayor, se concluye que este ya asegura la prevención de riesgos por descargas atmosféricas.

Lo anterior está mejor desarrollado en el apéndice O.

E. Análisis de Riesgos de Origen Eléctrico y Medidas para Mitigarlos

Con el fin de evaluar el nivel o grado de riesgo eléctrico, se aplica una matriz de valoración que apoya la toma de decisiones. La metodología empleada para cada factor de riesgo sigue los siguientes pasos:

- Definir el factor de riesgo que se desea evaluar o categorizar.
- Identificar si el riesgo es potencial o real.
- Determinar las posibles consecuencias sobre personas, aspectos económicos, medio ambiente e imagen institucional.
- Ubicar el punto de cruce en la matriz de acuerdo con el nivel de consecuencia (1 a 5) y la frecuencia (A a E).
- Repetir el proceso para cada clase de riesgo.
- Seleccionar el caso más crítico como categoría final del riesgo.
- Adoptar las decisiones según lo establecido en la Tabla 9.4 del RETIE.

Medidas Preventivas en Baja Tensión – Tableros Eléctricos

- Mantener siempre todos los tableros eléctricos cerrados.
- Todas las líneas de entrada y salida a los tableros estarán perfectamente sujetas y aisladas.

- En los armarios y tableros deberá colocarse una señal que indique el tipo de riesgo al que se está expuesto.

Medidas en Cables, Clavijas, Conexiones, Empalmes y Enchufes

- Garantizar el aislamiento eléctrico de todos los cables activos.
- Los empalmes y conexiones estarán siempre aislados y protegidos.
- Los cables de alimentación de herramientas eléctricas portátiles deben estar protegidos con material resistente.
- No utilizar cables defectuosos, clavijas rotas ni aparatos con carcasa deteriorada.
- Para desconectar una clavija, se tirará siempre de ella, nunca del cable de alimentación.
- Evitar que los conductores eléctricos queden expuestos a fuentes de calor, sustancias corrosivas, cortes o pisadas de vehículos.
- Se revisará periódicamente el estado de los cables flexibles y se asegurará el mantenimiento eléctrico de la instalación.
- La conexión a máquinas se hará siempre mediante bornas de empalme alojadas en cajas de registro.
- Todas las cajas de registro, bases de enchufes y clavijas de conexión estarán siempre tapadas, limpias y correctamente aseguradas.

Nota. Para mayor detalle, véase el apéndice E.

F. Análisis del Nivel de Tensión Requerido

El voltaje en media tensión suministrado por el operador de red EBSA en el municipio de Paipa, Boyacá, es de 13 200 V. Según la información técnica del punto de conexión, la relación de transformación es de 13 200/220 V.

En consecuencia, el sistema de baja tensión requerido es de 208/120 V, derivado de un transformador con nivel de alta tensión (AT) de 13 200 V y salida de baja tensión (BT) de 208/120 V, garantizando la compatibilidad con los equipos instalados y la eficiencia en el transporte de energía desde el punto de conexión hasta el tablero principal y el regulado.

G. Cálculo de Campos Electromagnéticos

Dado que no existen redes o subestaciones de alta tensión ni fuentes de campos electromagnéticos de alta frecuencia en las cercanías del proyecto, el análisis de campos electromagnéticos definido en la Tabla 14.1 del RETIE no es requerido para el presente proyecto.

H. Cálculo de Transformadores

A partir de los cuadros de cargas realizados y la aplicación de factores de diversidad de la carga tal como lo indica la norma, se tuvo en cuenta el taller con su demanda máxima utilizando las Tablas 430.148 y 430.150 de la NTC 2050 para los motores, y para las demás cargas tanto de iluminación como para las bodegas las Tablas 220.11 y 220.13 de la misma norma.

Con esto, además de con la información suministrada y constatada se llegó a la conclusión de que el transformador comercial debe ser de 75kVA debido a que la demanda máxima diversificada de la empresa resulta en 65kVA aproximadamente y su factor de crecimiento a futuro del 125% de la misma.

Características de transformador:

- Transformador trifásico
- Potencia: 75 kVA
- Tipo Convencional en aceite
- Tensión primaria 13200 V

- Tensión secundaria 220/127 V
- Conexión DY

Los cálculos para esto se encuentran en el apéndice G, y la ficha técnica del transformador se encuentra en el apéndice M.

I. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra

El diseño del sistema de puesta a tierra (SPT) para el taller PRAC se basa en un esquema de equipotencialidad centralizado.

Especificaciones del Diseño del SPT

Punto central de conexión.

Toda la instalación eléctrica del taller más bodega, incluyendo los 2 tableros, tanto de bodegas como el propio del taller.

Electrodo de puesta a tierra.

Se instalarán 2 varillas de acero recubierto en cobre de $5/8" \times 2,40$ metros, enterradas verticalmente en el punto de inspección del predio y en zonas estratégicamente puestas.

Conductor de puesta a tierra.

Se utilizará cable de cobre desnudo No. 2/0 AWG para el conductor de electrodo de puesta a tierra, garantizando baja impedancia para el drenaje de corrientes de falla y sobretensiones.

Caja de inspección.

Se instalará una caja de inspección de 30×30 cm con tapa, facilitando la medición periódica de la resistencia y el mantenimiento del sistema.

Con este diseño se busca obtener una resistencia de puesta a tierra menor o igual a 10Ω , cumpliendo con los requisitos del RETIE para proteger tanto la vida humana como los equipos sensibles de comunicaciones.

Los cálculos de la malla puesta a tierra están establecidos bajo el estándar IEEE 80 y se encuentran en el apéndice I.

J. Cálculo de Conductores

Para el cálculo de conductores se consideran la corriente en circuitos ramales, alimentadores, acometidas y la capacidad de corriente admisible para los conductores seleccionados. Las fórmulas básicas para el cálculo de corriente según el tipo de sistema son:

- Circuito monofásico: $I_0 = P / (VL \times FP)$
- Circuito trifásico: $I_0 = P / (\sqrt{3} \times VL \times FP)$

Donde I_0 es la corriente que circula por el circuito, VL la tensión de línea, P la potencia activa y FP el factor de potencia.

De acuerdo con la NTC 2050, los circuitos ramales, alimentadores o acometidas deben tener una capacidad nominal del 100 % de la carga no continua más un 125 % de la carga continua. La corriente nominal del circuito se calcula así:

$$I_n = I_0 \times 1,25$$

Los conductores deben tener una capacidad de corriente sin aplicar factor de ajuste igual o mayor a I_n , estableciendo así el calibre mínimo.

Factores de Corrección de Temperatura Ambiente y Número de Conductores por Canalización

Cuando la temperatura ambiente aumenta o el número de conductores que transportan corriente en una canalización es mayor a tres, la capacidad de corriente del conductor disminuye.

Se deben aplicar los factores de corrección establecidos en la sección 310-15 de la NTC 2050, conforme se presenta en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Factores de corrección por temperatura ambiente según tipo de aislamiento

Temperatura ambiente (°C)	60 °C TW	75 °C THW	90 °C XLP
21–25	1,08	1,05	1,04
26–30	1,00	1,00	1,00
31–35	0,91	0,94	0,96
36–40	0,82	0,88	0,91
41–45	0,71	0,82	0,87
46–50	0,58	0,75	0,82
51–55	0,41	0,67	0,76
56–60	0,00	0,58	0,71
61–70	0,00	0,33	0,58
71–80	0,00	0,00	0,41

Tabla 2. Factores de corrección por número de conductores activos por canalización

Número de conductores	Porcentaje de valores de tabla
0 a 3	100 %
4 a 6	80 %

7 a 9	70 %
10 a 20	50 %
21 a 30	45 %
31 a 40	40 %
> 41	35 %

Los resultados tanto de calibres se encuentran en el apéndice C y sus costos se encuentran en el presupuesto del apéndice N.

K. Verificación de los Conductores

La selección de conductores para la acometida y los alimentadores principales se basa en criterios de ampacidad, regulación de tensión y resistencia mecánica, cumpliendo con la NTC 2050 y las especificaciones de EBSA para redes de baja tensión.

Acometida Principal

- Tipo de conductor: cable antifraude tipo trébol (3 conductores de fase + 1 neutro concéntrico).
- Calibre seleccionado: $3 \times \#4/0 \text{ (F)} + 1 \times \#4/0 \text{ (N)} + 1 \times 4 \text{ (T) AWG}$.
- Aislamiento: tipo THHN/THWN para las fases, con chaqueta exterior resistente a la intemperie y protección UV.

Alimentador desde TGBT a Tablero del Taller

- Configuración: $3 \times \#1/0$ (F) + $1 \times \#1/0$ (N) + 1×6 (T) AWG en conductor tipo THHN/THWN.
- Protección asociada: interruptor termomagnético de 3×150 A, garantizando protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Alimentador desde TGBT a Tablero de Bodegas

- Configuración: $3 \times \#2$ (F) + $1 \times \#2$ (N) + $1 \times \#8$ (T) AWG en conductor tipo THHN/THWN.
- Protección asociada: interruptor termomagnético de 3×40 A, garantizando protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Los resultados tanto de calibres como de regulación y perdidas se encuentran en el apéndice F.

L. Cálculo mecánico de estructura y elementos de sujeción de equipos

Diseño Mecánico de Estructuras

Para el diseño mecánico de las estructuras y elementos de sujeción de los equipos se adoptaron los lineamientos de la guía técnica para el cálculo mecánico de estructuras de redes de distribución utilizada por el operador de red, la cual establece las hipótesis de carga, los parámetros de diseño y los criterios de verificación estructural.

Conforme a esta metodología, las estructuras deben evaluarse bajo dos condiciones principales de carga —**normales** y **anormales**— considerando la acción simultánea de cargas verticales, transversales y longitudinales sobre el sistema.

En condiciones normales, las estructuras están sometidas a:

- **Cargas verticales:** asociadas al peso propio del poste, los conductores, los aisladores y los accesorios.
- **Cargas transversales:** originadas por la acción del viento sobre los conductores y la estructura.
- **Cargas longitudinales:** debidas al desbalance de tensiones entre vanos o a condiciones geométricas del trazado.

Adicionalmente, se consideran **condiciones anormales**, como la rotura de conductores o los desequilibrios de carga, que generan esfuerzos adicionales cuya verificación es necesaria para garantizar la estabilidad estructural del sistema.

Selección de Estructuras

La selección de los apoyos se realizó considerando postes de concreto, debido a su alta resistencia mecánica, durabilidad y adecuado comportamiento frente a condiciones ambientales adversas.

De acuerdo con el RETIE y las guías técnicas aplicables, los postes deben cumplir con cargas de rotura normalizadas (510 kg, 750 kg, 1050 kg, 1350 kg, entre otras), correspondientes a la carga horizontal máxima aplicada cerca de la cima del poste. Asimismo, se aplicó un **factor de seguridad estructural**, definido como la relación entre la carga de rotura y la carga de trabajo, el cual para postes de concreto es típicamente **2.5**, garantizando condiciones seguras de operación.

Para realizar una correcta selección de estructuras deben considerarse características fundamentales que influyen en el comportamiento mecánico de los apoyos, tales como el vano, el ángulo de inflexión y el factor de seguridad, entre otros parámetros relevantes para el diseño.

Una vez definidas estas características, el siguiente paso es calcular la **profundidad de cimentación** de los postes que se utilizarán en el proyecto, mediante la siguiente expresión:

$$t = 0,1 \times H_p + 0,6$$

Donde H_p corresponde a la altura del poste seleccionado.

Área aproximada del poste (A_p):

$$A_p = \frac{D_{base} + D_{cima}}{200} \times H$$

Donde:

- D_{base} : diámetro de la base, en centímetros.
- D_{cima} : diámetro de la cima, en centímetros.
- H : longitud del poste menos t (profundidad de cimentación).

Presión del viento (P_v):

$$P_v = Q \times V_v^2 [\text{N/m}^2]$$

Donde:

- V_v : velocidad del viento, en metros por segundo.
- Q : coeficiente de exposición (adimensional), obtenido según la tabla o ecuación indicada en la guía técnica.

Carga del viento sobre una superficie o elemento (F_p):

$$F_p = P_v \times A_p [\text{N}]$$

Donde:

- P_v : presión del viento.
- A_p : área aproximada del poste.

Para expresar esta carga en kilogramos-fuerza:

$$F_p \text{ [kgf]} = \frac{F_p \text{ [N]}}{9,81}$$

Altura de aplicación de la carga del viento (H_1):

$$H_1 = \frac{H}{3} \times \frac{D_{base} + 2 D_{cima}}{D_{base} + D_{cima}}$$

Carga total del viento sobre los conductores (F_v):

$$F_v = P_v \times \frac{D_c}{100} \times l \times n$$

Donde:

- D_c : diámetro del conductor.
- P_v : presión del viento.
- l : longitud del vano.
- n : número de conductores iguales en el vano.

Fuerza por cambio de dirección (ángulo) (F_T):

$$F_T = 2 t \times \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \times N$$

Donde α es el ángulo de inflexión, en radianes.

Altura de amarre de los conductores (H_c) y altura libre del poste (H_l):

$$H_c = H_p - t - H_{d \text{ cima}}$$

$$H_l = H_p - t$$

Donde:

- H_p : altura geométrica del poste.
- t : flecha (o sag) en condiciones de cálculo (m).
- $H_{d\ cima}$: distancia del conductor más bajo desde la cima (m).

Una vez determinadas las alturas H_c y H_l , es posible calcular los momentos actuantes sobre el apoyo, en los conductores, por tensión en los conductores, y el momento resistente.

Momento de apoyo:

$$M_{va} = F_p \times H_1$$

Momento en conductores:

$$M_{vc} = F_c \times H_c$$

Momento por tensión en los conductores:

$$M_a = F_T \times H_c$$

Momento resistente:

$$M_r = H_l \times \frac{C_r}{K}$$

Donde:

- C_r : carga de rotura del poste.
- K : factor de seguridad.

Finalmente, para verificar que el poste seleccionado es adecuado, debe cumplirse la siguiente condición:

$$M_r \geq M_{va} + M_{vc} + M_a$$

Si esta desigualdad se satisface, el poste seleccionado es estructuralmente correcto para las condiciones de carga evaluadas.

M. Cálculo y Coordinación de Protecciones

La coordinación de protecciones se ha diseñado bajo criterios de selectividad, protegiendo tanto los conductores como los equipos de la carga de 50 kVA. Se establecen tres niveles de protección:

Nivel 1: protección de cabecera (acometida).

Ubicada en el tablero de medida externa, se dispone de un interruptor automático trifásico de 3×250 A, calculado para proteger la acometida contra sobrecargas y cortocircuitos.

Nivel 2: Distribución taller.

El tablero principal de 24 circuitos cuenta con un barraje dimensionado para la carga total, del cual se derivan las protecciones de los circuitos ramales de iluminación y fuerza, en el taller se tiene en cuenta que el taller tiene motores por tanto se debe garantizar también una protección de sobrecarga al mismo tal como lo indica la sección 430-32(a)(1) de la NTC 2050. Se dispone de un interruptor automático trifásico de 3×150 A.

Nivel 3: Distribución carga bodegas.

El tablero principal de 12 circuitos cuenta con un barraje dimensionado para la carga total, del cual se derivan las protecciones de los circuitos ramales de iluminación y tomas. Se dispone de un interruptor automático trifásico de 3×80 A.

Para mayor detalle revisar el apéndice J.

N. Cálculos de Canalizaciones

En el taller, donde existe mayor riesgo de golpes y presencia de maquinaria, se utiliza tubería metálica tipo EMT, además de emplear canalización flexible metálica en las conexiones a motores para absorber vibraciones.

En las bodegas y el parqueadero, se puede emplea principalmente tubería EMT, ya que ofrece adecuada protección y facilidad de instalación, mientras que en tramos exteriores o subterráneos se recomienda el uso de tubería PVC (SCH 80) según el nivel de exposición.

De acuerdo con la tabla 1 del capítulo 9 de la NTC 2050, el cálculo del porcentaje de ocupación del número máximo de conductores que pueden ir por un ducto se determina mediante las secciones transversales de los conductores y de los ductos:

$$\%Ocupacion = \frac{A_{conductor}}{A_{ducto}} * 100$$

Dado que se tienen más de dos conductores por ducto el límite de llenado es de 40%.

Tabla 34 – Porcentajes de ocupación de las tuberías para el llenado de conductores.

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

Fuente: NTC 2050 capítulo 9, tabla 1

Se proyectó las canalizaciones en baja tensión en tubería PVC y EMT, con la ocupación que se observa.

Los resultados se encuentran en el apéndice P.

O. Cálculos de Pérdidas de Energía

De acuerdo con los parámetros solicitados por el RETIE, se aplica la siguiente metodología para el cálculo de las pérdidas de potencia, considerando las siguientes variables:

- $I_{125\%}$: corriente de línea al 125% (A).
- R_{cond} : resistencia del conductor (Ω/km).
- L : distancia del conductor (m).
- D_{max} : potencia aparente (VA).

- Fp: factor de potencia.

$$\%Pp = \frac{I_{125\%}^2 \cdot R_{cond} \cdot L}{D_{m\acute{a}x} \cdot Fp}$$

Para mayor detalle, véase apéndice H.

P. Cálculos de Regulación

De acuerdo con el RETIE, el cálculo de regulación emplea las siguientes fórmulas, tomadas de catálogos de fabricantes de cables como CENTELSA y PROCABLES:

- Sistema monofásico:
- Sistema trifásico:

Donde Ms es el momento eléctrico multiplicado por el factor k, calculado a partir de la potencia aparente S, la tensión de línea VL, la impedancia efectiva Zeff, la longitud l y el número de conductores por fase.

Las secciones 210-19(a), nota 4, y 215-2(b), nota 2 de la NTC 2050 establecen que la caída de tensión desde la salida más alejada de un circuito ramal no debe superar el 3 %, y la caída combinada de los circuitos alimentador y ramal no debe exceder el 5 %. Cuando un conductor supere estos valores, se incrementa su calibre hasta cumplir los criterios de regulación.

Para mayor detalle, véase apéndice H.

Q. Clasificación de áreas

Se realizó la evaluación de las instalaciones del taller de mantenimiento eléctrico, incluyendo las áreas de bodegas, parqueaderos y almacenamiento de residuos.

Taller y Bodegas: El almacenamiento y mantenimiento se limita a elementos pasivos de media y alta tensión (celdas, herrajes, aisladores, cables) que no desprenden sustancias inflamables.

Parqueaderos: Cuentan con ventilación adecuada para la circulación de vehículos, sin fosas de servicio técnico.

Área de Residuos: Está destinada exclusivamente al acopio de residuos sólidos no peligrosos e inertes (chatarra metálica, plásticos, cartón y embalajes). No se almacenan combustibles, pinturas, solventes ni aceites usados.

Conclusión: Por lo tanto, bajo los lineamientos del Capítulo 5 de la NTC 2050 y el reglamento RETIE, el 100% de las instalaciones se clasifica como ÁREA ORDINARIA (NO CLASIFICADA).

R. Diagramas Unifilares

Los planos con diagramas unifilares se presentan como anexos al presente documento en el apéndice C.

S. Elaboración de planos y esquemas eléctricos de construcción

Este documento técnico compila la representación gráfica y esquemática de la instalación eléctrica proyectada, desarrollada bajo los lineamientos obligatorios del reglamento RETIE y las especificaciones técnicas de la NTC 2050. El diseño contempla la configuración de diagramas unifilares, cuadros de cargas y distribución en planta, asegurando la trazabilidad normativa necesaria para superar con éxito el proceso de inspección y dictamen de conformidad exigido para la legalización del proyecto.

Elaboración de Planos

Los planos y esquemas para la construcción se presentan como anexos al presente documento en el apéndice D.

T. Especificaciones de construcción

Las presentes especificaciones de construcción definen los requisitos técnicos obligatorios para el montaje de la infraestructura eléctrica, haciendo especial énfasis en la ejecución de las obras deberá ceñirse rigurosamente a los detalles constructivos y notas de ingeniería consignados en los planos, garantizando el correcto dimensionamiento de canalizaciones, cajas y soportes bajo los parámetros de la NTC 2050 para prevenir arcos eléctricos y garantizar la seguridad del personal de obra. Se optó por realizar detalles constructivos en los planos según corresponde.

U. Distancias de Seguridad

Las distancias de seguridad consideradas en el proyecto son de dos clases: distancias mínimas en zonas con construcciones y distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas.

Distancias Mínimas en Zonas con Construcciones

Se verifican las distancias mínimas de seguridad entre la línea de media tensión a 13 200 V y la nueva edificación proyectada, conforme al artículo 13° del RETIE.

Distancias Mínimas para Trabajos en o Cerca de Partes Energizadas

Cuando se requieran trabajos de instalación o mantenimiento en o cerca de partes energizadas, se deben tomar las precauciones y medidas de seguridad correspondientes para que tanto el personal técnico como los visitantes no queden expuestos a riesgos eléctricos.

Para proteger a las personas, los tableros eléctricos deberán contar con puerta con llave, de modo que solo el personal autorizado tenga acceso. Quienes intervengan partes energizadas deben utilizar equipos de protección personal (EPP) adecuados para el nivel de tensión y energía incidente, conforme a la clasificación por categorías y nivel mínimo de protección establecida en la Tabla 13.6 del RETIE.

V. Justificación de técnica de desviación de la NTC 2050

No se requirió ninguna desviación durante el proyecto.

W. Otros Estudios: Diseño de Iluminación

Se realizó el estudio de iluminación del proyecto en DIALUX, se simuló y se verificó de acuerdo con normativas de RETILAP para cada zona de influencia y se estableció que el proyecto efectivamente cumple con lo requerido. Para mayores detalles, revisar el apéndice K.

Referencias

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2011). NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano. Icontec.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2016). NTC 4552: Protección contra rayos – Evaluación del riesgo. Icontec.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2024). Resolución 40117 de 2024: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2024). Resolución 40150 de 2024: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Ministerio de Minas y Energía.

Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). (2000). The IESNA lighting handbook: Reference & application (9.^a ed.). IESNA.

Sylvania Lighting. (2023). Fichas técnicas de luminarias LED [Catálogo de productos]. Sylvania.