

GUÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS ÍTEMS DEL DISEÑO DETALLADO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Presentado por:

Johan Hadderth Jerez Naranjo
Freily Jacome Angarita



Aniversario
UIS 1948 - 2023

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

INTRODUCCIÓN

El área del diseño de instalaciones eléctricas es de importancia en la actualidad y esto es algo de gran interés para los recién egresados de ingeniería eléctrica como para ingenieros con experiencia, un buen diseño eléctrico no solamente es comodidad a la hora de usar este recurso sino también implica seguridad. Por ende, contar con un buen servicio de instalaciones eléctricas facilita la preservación del patrimonio y la reducción de costos, el artículo 10.1 del RETIE establece las condiciones para el diseño, la construcción y el mantenimiento de estas instalaciones, incluyendo las medidas necesarias para prevenir y mitigar los riesgos asociados a los incidentes y fallos eléctricos.

A pesar de que hay muchas fuentes de información sobre el diseño de instalaciones eléctricas, algunas se encuentran dispersas o no se centran en una herramienta fácil de usar, lo que dificulta la tarea de realizar los diseños y requerir plazos muy cortos de entrega. Este proyecto se centra específicamente en este problema, creando una guía que oriente a los usuarios a realizar un diseño de instalación eléctrica adecuado, que cumpla con las normas específicas.

Esta guía se propone organizar cada elemento del artículo, reforzar la información necesaria para el cumplimiento de cada elemento y proporcionar confiabilidad al lector para ayudarlo a realizar su respectivo diseño, asegurando una operación segura y confiable y protegiendo a las personas, los equipos y la infraestructura contra los riesgos eléctricos. Los ejemplos presentados en esta guía se han extraído de un proyecto específico en el cual se llevó a cabo el diseño de una plaza de mercado como caso de estudio. Estos ejemplos se han seleccionado con el propósito de ilustrar y aplicar cada uno de los ítems que desde la "A" hasta la "W" en un contexto real y práctico.



A

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

Para iniciar un diseño de instalaciones eléctricas es fundamental el cuadro de cargas, el cual desempeña un papel crucial en como se distribuye y se controla la energía eléctrica. En él se encuentra un resumen detallado del tipo, ubicación y la cantidad de circuitos que se encuentran instalados. Por lo tanto, el cuadro de cargas es crítico para el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

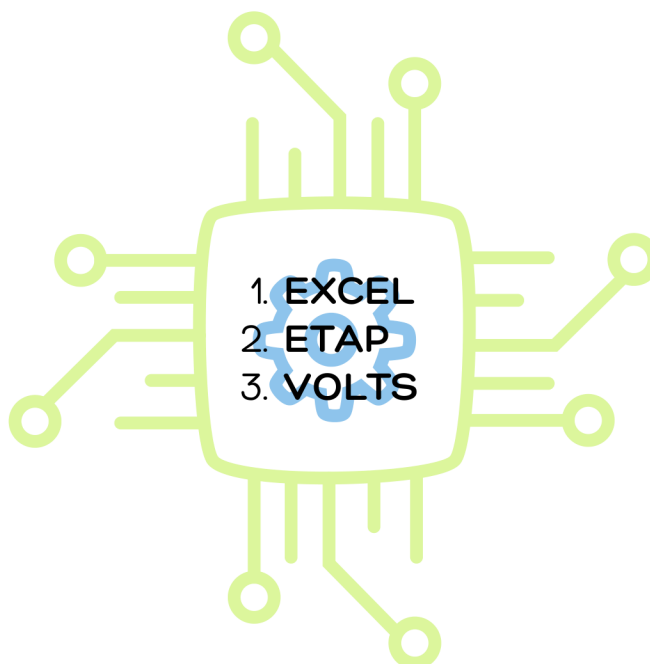
DEFINICIÓN



El análisis de factor de potencia se refiere a la relación entre la energía activa (Watts) y la energía aparente (VA) consumida por los dispositivos eléctricos. Un bajo factor de potencia indica que hay una carga mayormente reactiva en la instalación eléctrica, lo que puede afectar la eficiencia energética y aumentar los costos de energía.

El estudio de armónicos se enfoca en la identificación de señales eléctricas no lineales presentes en la forma de onda de la corriente eléctrica de una instalación. La presencia de armónicos puede provocar alteraciones en la forma de onda de la corriente, lo que a su vez puede tener consecuencias graves, como sobrecalentamiento de los dispositivos eléctricos, mal funcionamiento de los equipos y disminución de la eficiencia energética. Por lo tanto, es esencial llevar a cabo un análisis de armónicos para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente de las instalaciones eléctricas.

SOFTWARE DE APOYO





EJEMPLO

Para realizar un cuadro de cargas se deben considerar como mínimo que lleve los siguientes parámetros:

- Numero de circuitos al que se encuentra conectada la carga en el tablero de distribución
- Potencia nominal de la carga.
- Voltaje al que está conectado la carga.
- Corriente al cual está operando la carga.
- Descripción de la carga.
- Fase en la cual se encuentra conectado la carga.

Un ejemplo de cuadro de cargas es el siguiente:

No. Circuito	Descripción Circuito Ramal	Tomacorrientes normal [180 VA]	Luminaria de 24 W	Luminaria de 50 W	Luminaria de 7 W	Luminaria de emergencia	Factor de potencia (FP)	Carga en [W]	Carga en [VA]	Tensión (V)	Distancia Tablero (m)	Polos	Cobre/ Aluminio	Calibre Fase	
	Potencia en Watts de elemento	180	24	50	7	3	180	24	40	50	3				
	Factor de Potencia por elemento	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	1	0.95	0.95	0.95	0.95				
1	Oficinas de acopio	2					0.98	360	367	120	10	1	cu	12	
2	Oficinas de plaza y pabellón de carnes	6					0.98	1080	1102	120	10	1	cu	12	
3	Baño vestier	3					0.98	540	551	120	50	1	cu	12	
4	Almacenaje	5					0.98	900	918	120	20	1	cu	12	
5	Máquinas, basuras y almacenaje adicional	5					0.98	900	918	120	20	1	cu	12	
6	Iluminación parte 1		23	13			0.95	1202	1265	120	15	1	cu	12	
7	Iluminación parte 2		9	13			0.95	866	912	120	15	1	cu	12	
8	Reserva														
	Carga Instalada	3780	1366.8	3847.5	55.65	11.85							6	10	16
	Demanda máxima	3780	1366.8	3847.5	55.65	11.85									
	Demanda máxima total	9061.8	Factor de demanda	1.00											

Ducto Mínimo PVC/EMT	Corriente (A)	Caida de Tensión %	Corriente para selección del conductor [A]	Capacidad de corriente del conductor seleccionado 75°C [A]	Capacidad de corriente del conductor seleccionado 90°C [A]	Calibre Tierra	Calibre Neutro	Sección del conductor [mm2]	Area Exterior Cables mm ²	Area Interior Tubería mm ²	Número de conductores por fase	Número de conductores por canalización	Temp. Amb. (°C)	Pérdidas de energía kWm	Carga por fase (VA)	Carga por fase (W)	Carga por fase (VAR)
Φ 3/4 "	3.1	0.34%	4	25	30	12	12	3.30	12.9	102.9	1	1 a 3	26-30	1.26	367	360	73
Φ 3/4 "	9.2	1.03%	11	25	30	12	12	3.30	12.9	102.9	1	1 a 3	26-30	11.35	1102	1080	219
Φ 3/4 "	4.6	2.58%	6	25	30	14	12	3.30	12.9	102.9	1	1 a 3	26-30	14.19	551	540	110
Φ 3/4 "	7.7	1.72%	10	25	30	14	12	3.30	12.9	102.9	1	1 a 3	26-30	15.77	918	900	183
Φ 3/4 "	7.7	1.72%	10	25	30	14	12	3.30	12.9	102.9	1	1 a 3	26-30	15.77	918	900	183
Φ 1/2 "	10.5	1.77%	13	25	30	14	12	3.30	12.9	58.8	1	1 a 3	26-30	22.45	1265	1202	395
Φ 1/2 "	7.6	1.28%	9	25	30	14	12	3.30	12.9	58.8	1	1 a 3	26-30	11.65	912	866	285

- El **factor de potencia** dependerá en la mayoría de los casos de las fichas técnicas de los equipos o en algunos casos dependerá del criterio del ingeniero.
- La **carga instalada** corresponde a la suma de las cargas de los equipos que serán instalados.
- El **factor de demanda** Dependerá del estrato en el cual se realizará la instalación eléctrica y también dependerá si es de tipo residencial o comercial (en el artículo 220 de la ntc 2050 se encuentra la manera para estimar el factor de demanda adecuado)
- La **demanda máxima** se calcula de la siguiente manera:

$$D_{\text{máx}} = E_m + (C_i - E_m) * F_d$$

Donde:

Em-> Equipo de mayor carga
 Ci-> Carga instalada
 Fd-> Factor de demanda

- La **protección** se selecciona de tal manera que la corriente nominal de este mismo sea comercialmente cercana y superior a la corriente que demanda la carga.
- La **caída de tensión** debe ser igual o inferior al 3%, si un conductor supera estos valores se debe aumentar un número más su calibre con el fin de cumplir con este criterio de regulación.

NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 2050 Sección 220.

Recomendaciones:

- Subsección 220-3. Calculo de los circuitos ramales (cargas de alumbrado general por tipo de ocupación)
- Subsección 220-4. Circuitos ramales necesarios.
- Subsección 220-11. Alumbrado general (tabla 220-11 factores de demanda para alimentadores de cargas de alumbrado)
- Subsección 220-13. Cargas de tomacorrientes en edificaciones que no sean de viviendas (tabla 220-13 factores de demanda para cargas de tomacorrientes en edificaciones no residenciales)
- Subsección 220-10. Capacidades de corriente y cargas calculadas.

Norma NTC 2050 artículo 310.

Recomendaciones:

- Subsección 310-5. Calibre mínimo de los conductores (en la tabla 310-5 se recoge el calibre mínimo de los conductores)
- Subsección 310-15. Capacidad de corriente (en el ítem b se encuentra la formula para calcular la capacidad de corriente de los conductores)

Norma NTC 2050 artículo 430.

Recomendaciones:

- Sección 430-24. Varios motores o un motor(es) y otra(s) carga(s).
 - Sección 430-25. Equipos de varios motores o de cargas combinadas.
 - Sección 430-26. Factor de demanda del alimentador.
 - Sección 430-29. Motores de corriente continua de tensión constante.
-

Norma ANSI/IEEE 519.

Recomendaciones:

- Sección 5. Límites armónicos recomendados.
- Sección 5.1 Límites recomendados de tensión armónica.
- Sección 5.2 Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con capacidad nominal de 120 V a 69 Kv.
- Sección 5.3 Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas clasificados nominalmente por encima de 69 kV a 161 kV.
- Sección 5.4 Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas nominalmente superiores a 161 kV.
- Sección 5.5 Recomendaciones para aumentar los límites de corriente armónica.



B

ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO

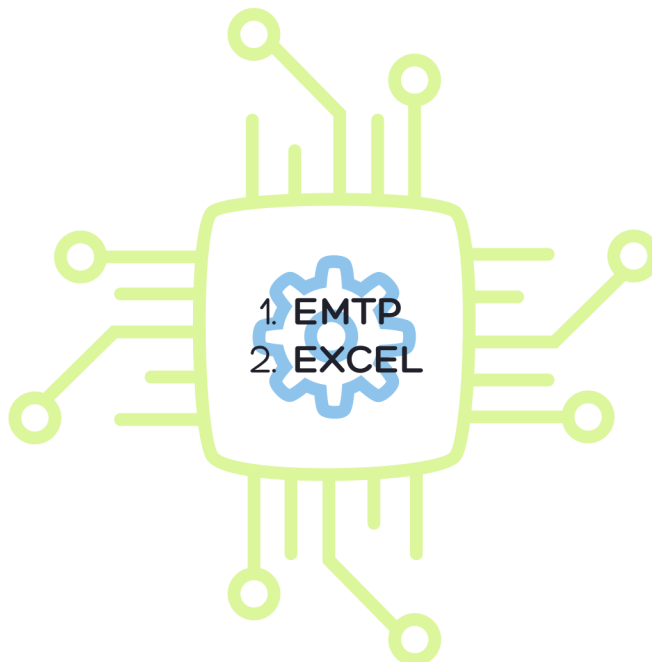
DEFINICIÓN



El propósito de este análisis consiste en verificar si el sistema de aislamiento eléctrico es capaz de resistir de manera adecuada los niveles de tensión y corriente que se presentan en la instalación eléctrica sin experimentar daños o disfunciones. Es esencial llevar a cabo este análisis para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema eléctrico, lo que implica la implementación de medidas preventivas y correctivas en caso de detectar algún problema en el sistema de aislamiento, teniendo como objetivo final asegurar la integridad del sistema eléctrico y proteger la seguridad de las personas y los equipos conectados a él.

El análisis de coordinación de aislamiento eléctrico implica la evaluación de los niveles de voltaje y corriente presentes en una instalación eléctrica con el fin de identificar los puntos críticos que requieren un nivel de aislamiento eléctrico más alto. Este análisis es fundamental para asegurar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema eléctrico. Una vez identificados los puntos críticos, se seleccionan y diseñan los materiales de aislamiento eléctrico adecuados para cada uno de ellos, de manera que cumplan con los requisitos de resistencia dieléctrica y rigidez eléctrica necesarios para la instalación. Así, se garantiza que la coordinación de aislamiento eléctrico sea efectiva en todo momento y que el sistema eléctrico funcione de manera segura y eficiente.

SOFTWARE DE APOYO





En este proyecto los cables de baja tensión tendrán un nivel de aislamiento de 600 [V] y el nivel de tensión requerido es de 208 [V], lo cual significa que tendrán un factor de seguridad de 2,88.

Para los interruptores de baja tensión tendrán un nivel de aislamiento de 600 [V] y se tiene una tensión de 208 [V], lo cual su factor de seguridad es de 2,88.

Para los balastos de baja tensión tendrán un aislamiento de 600 [V] y se usarán con una tensión de 120 [V], lo cual significa que tendrán un factor de seguridad de 5.

Para controlar este nivel de aislamiento, cada año debe hacerse un plan de mantenimiento en el cual se incluya la medición de los niveles de aislamiento de los cables eléctricos.

$$\text{FACTOR DE SEGURIDAD: } \mathbf{KS} = \frac{\text{BIL}}{\text{Tensión Nominal}}$$

NORMATIVA APLICABLE



Norma IEC 60071 parte 1.

Recomendaciones:

- Sección 4. Procedimiento para la coordinación de aislamiento.
- Figura 1. Organigrama de determinación de los niveles de aislamiento asignados y normalizados.
- Tabla 2. Niveles de aislamiento normalizados para la gama I.
- Tabla 3. Niveles de aislamiento normalizados para la gama II.

Norma IEC 60071 parte 2.

Recomendaciones:

- Sección 5.3 Procedimientos de aislamiento de coordinación
- Sección 6.2.2 Corrección de altitud.
- Sección 6.3.5 Factores de seguridad recomendados (Ks).

RETIE Artículo 20.1

Recomendaciones

- Sección 20.1 aisladores eléctricos
- Sección 20.2 alambres y cables para uso eléctrico

ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA

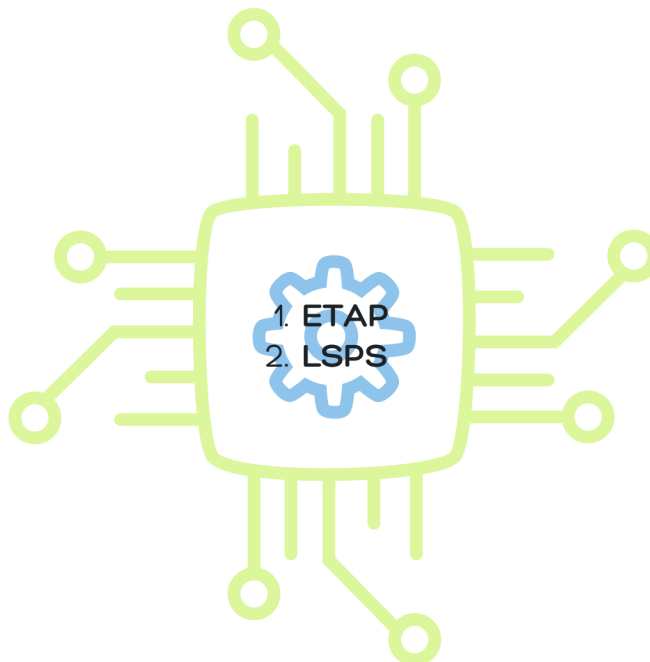
DEFINICIÓN



El análisis de cortocircuito es un proceso de evaluación que se realiza en una instalación eléctrica con el fin de determinar su capacidad para soportar un flujo repentino de corriente eléctrica ocasionado por un cortocircuito. Un cortocircuito puede generar una corriente eléctrica extremadamente alta, lo que puede dañar los equipos eléctricos y poner en riesgo la seguridad de las personas. Por ello, es esencial llevar a cabo este análisis para detectar cualquier deficiencia en la capacidad de la instalación eléctrica para soportar un cortocircuito, de manera que se puedan implementar medidas preventivas y correctivas que garanticen la seguridad de las personas y los equipos, y un funcionamiento eficiente y sostenible de la instalación eléctrica.

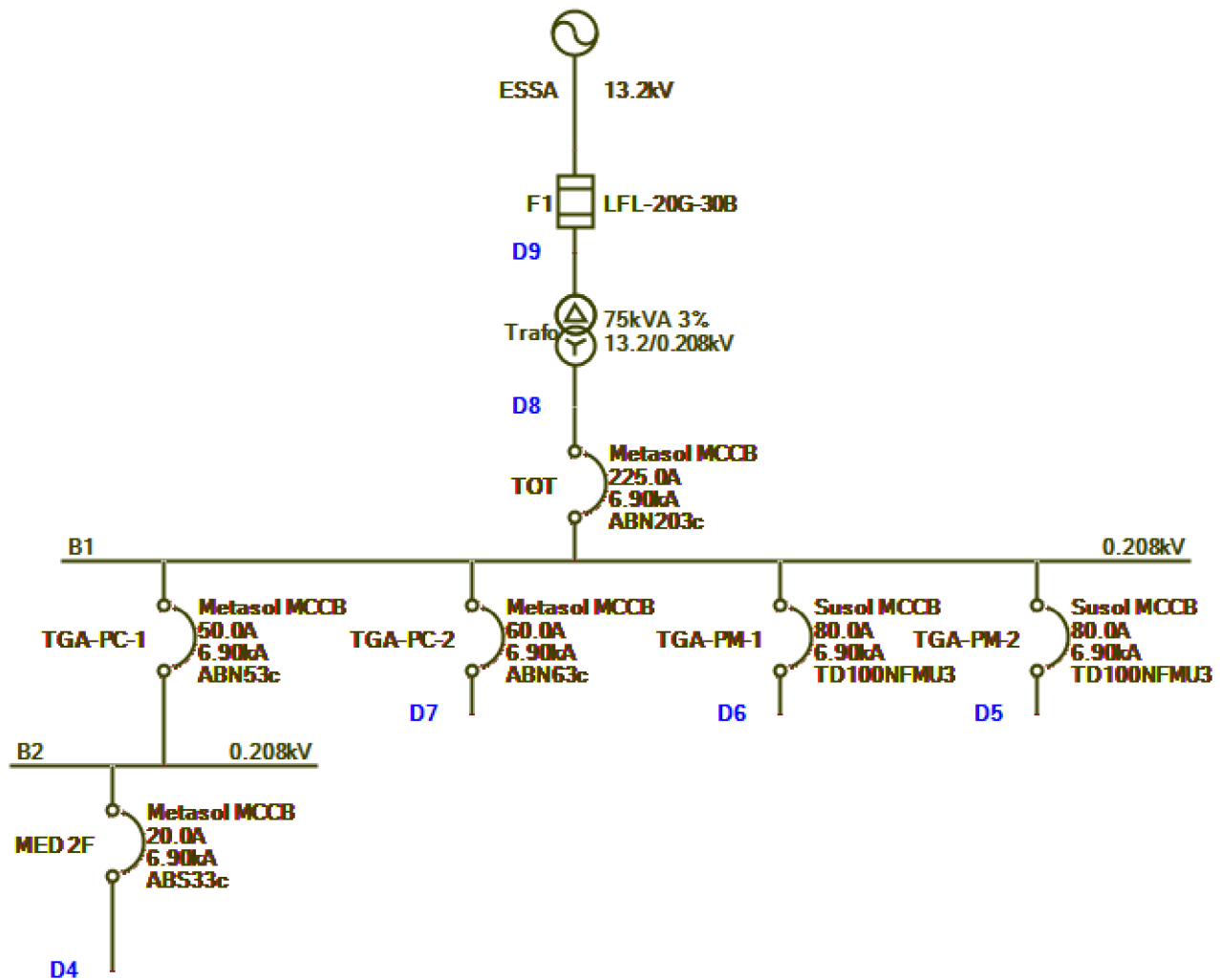
Por otro lado, Una falla a tierra se produce cuando hay una conexión accidental de un conductor activo a tierra, lo que puede provocar el flujo de una corriente eléctrica a través de la tierra. Esta situación puede dañar los equipos eléctricos y, además, poner en riesgo la seguridad de las personas. Por tanto, es esencial llevar a cabo este análisis para detectar cualquier deficiencia en la capacidad de la instalación eléctrica para soportar una falla a tierra, de manera que se puedan implementar medidas preventivas y correctivas que garanticen la seguridad de las personas y los equipos, y un funcionamiento eficiente y sostenible de la instalación eléctrica.

SOFTWARE DE APOYO



EJEMPLO

En el siguiente esquema se evidencia un estudio de cortocircuito en el software Ips siguiendo la metodología que se establece en la norma IEC 60909 del 2001. La letra D en color azul representa los nodos bajo falla donde se realizó el estudio de cortocircuito.



Como resultado de las pruebas de cortocircuito, la corriente de falla en sistema es de 6.90 kA, por lo cual se deben contar con protecciones de sobrecorriente que actúen para mitigar este posible evento.

NORMATIVA APLICABLE



La norma ANSI/IEEE C57.12.00 capítulo 7.

Recomendaciones:

- Sección 7.1.3. Duración de la corriente de cortocircuito.
- Sección 7.1.4. Magnitud de la corriente de cortocircuito

La norma IEC 60909-0 capítulo 4.

Recomendaciones:

- Sección 4.2 Corriente de cortocircuito simétrica inicial.
- Sección 4.3 Valor de cresta de la corriente de cortocircuito.
- Sección 4.4 Componente continua de corriente de cortocircuito.
- Sección 4.5 Corriente simétrica de corte.
- Sección 4.6 Corriente de cortocircuito permanente.
- Sección 4.7 Cortocircuito en terminales de los motores asíncronos.

La norma IEC TR 60909-4.

Recomendaciones:

- Capítulo 5. Cálculo de corrientes de cortocircuito en un sistema de baja tensión.
- Capítulo 6. Cálculo de corrientes de cortocircuito trifásicas en un sistema de media tensión- influencia de los motores asíncronos.
- Capítulo 7. Cálculo de corrientes de cortocircuito trifásicas para unidad de central eléctrica y red auxiliar.



D

ANÁLISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

DEFINICIÓN

El análisis de nivel de riesgo por rayos implica evaluar la probabilidad de que la instalación eléctrica sea impactada directa o indirectamente por rayos y los riesgos asociados. Este análisis se realiza mediante el uso de modelos matemáticos que toman en cuenta las características geográficas y climáticas de la zona, así como la actividad de rayos registrada en la zona. De esta manera, se puede determinar el nivel de riesgo y tomar medidas preventivas adecuadas para minimizar los posibles daños a la instalación y garantizar la seguridad de las personas. Estas medidas pueden incluir la instalación de pararrayos, el diseño de sistemas de puesta a tierra adecuados, la instalación de sistemas de protección contra sobretensiones, y la evaluación de los riesgos de interrupción del suministro eléctrico.



SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL
2. CPT - ANALISIS DE RIESGO
3. IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR
4. MELSHORT 2

EJEMPLO

La siguiente tabla muestra un análisis del nivel de riesgo realizado en cpt mostrando los resultados de la evaluación de riesgo y cálculo de la eficiencia del SIPRA a implementar, este software se basa en la norma NtC 4552-2 del 2007 protección contra rayos - parte 2: evaluación de riesgo por rayos.

EVALUACIÓN ANUAL N DE EVENTOS PELIGROSOS

Numero de días tormentosos al año:

DOT: Ciudad Seleccionada: Remedios 1,00

Geometría Estructura a Proteger

Tipo de Geometría: Prominente Rectangular Prominente Vertical Prominente Horizontal

L: Largo de la estructura: 24,00 [m]

W: Ancho de la estructura: 16,00 [m]

Hh: Altura Promedio de la estructura: 4,00 [m]

Hv: Altura pronunciada de la estructura: 10,00 [m]

Factor de Localización Relativa: 2. Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor

Geometría Estructura Adyacentes

Tipo de Geometría: Prominente Rectangular Prominente Vertical Prominente Horizontal

L: Largo de la estructura: 24,00 [m]

W: Ancho de la estructura: 14,00 [m]

Hh: Altura Promedio de la estructura: 4,00 [m]

Hv: Altura pronunciada de la estructura: 10,00 [m]

Factor de Localización Relativa: 1. Objeto rodeado de objetos o arboles mas altos

Factor de corrección por presencia de transformador: 1. Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente

Líneas de Servicio de Potencia

Tipo de Línea: Subterránea

Factor de Localización Relativa: 1. Objeto rodeado de objetos o arboles mas altos

Factor de corrección por presencia de transformador: 1. Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente

Factor Ambiental: 2. Urbano (Entre 10[m] y 20[m] de altura)

Altura sobre la tierra de los conductores de servicio: 0,00 [m]

Altura de la estructura donde proviene la acometida: 0,00 [m]

Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida: 0,00 [m]

Longitud de la sección de la acometida de servicio: 15,00 [m] Valor Desconocido

Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada: 106 [ohm/m] Valor Desconocido

Líneas de Servicio de Telecomunicación

Existe Líneas de Telecomunicación:

Tipo de Línea: Subterránea

Factor de Localización Relativa: 1. Objeto rodeado de objetos o arboles mas altos

Factor Ambiental: 2. Urbano (Entre 10[m] y 20[m] de altura)

Altura sobre la tierra de los conductores de servicio (Telecomunicación): 0,00 [m]

Altura de la estructura donde proviene la acometida (Telecomunicación): 0,00 [m]

Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida (Telecomunicación): 0,00 [m]

Longitud de la sección de la acometida de servicio (Telecomunicación): 15 [m] Valor Desconocido

Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada: 106 [ohm/m] Valor Desconocido

PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS

Ubicación Personas: 1. Personas dentro de la estructura	Aplicación Estructura: 1. Hospitales, Hoteles, Edificos
Tipo de Suelo Interno: 1. Agricultura, concreto (con Resistencia de contacto <= 1 [k*OHM])	Tipo de Suelo Externo: 1. Agricultura, concreto (con Resistencia de contacto <= 1 [k*OHM])
Medidas de prevención para reducir las consecuencias del fuego (Medida Correctiva): 2. Una de las siguientes prevenciones: Extintores manuales, instalaciones de alarma manual; hidrantes, compartimentos contra fuego; rutas de evacuación	Riesgo de Fuego: 5. Ninguno
Situaciones especiales de peligro: 1. Sin riesgo especial	

R1: 3.9454E-08

Pérdida de vida humana

Cumple

R2: 3.9441E-08

Pérdida de servicio Público

Cumple

R3: 0.0000E+00

Pérdida de patrimonio cultural

Cumple

R4: 3.9441E-08

Pérdida de valor económico

Cumple

Para realizar este análisis primero se debe tener en cuenta una serie de parámetros como lo son:

- Datos de la estructura
- Información de los sistemas de protección
- Tipos de pérdidas
- Entre otros

NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 4552 parte 1.

Recomendaciones:

- Sección 5. Daños causados por los rayos.
 - 1.Tabla 1. Efectos del rayo en estructuras típicas.
 - 2.Tabla 2. Daños y pérdidas en una estructura según el punto de impacto del rayo.
 - 3.Figura 2. Tipo de pérdida y sus riesgos correspondientes resultantes de los diferentes tipos de daños.
- Sección 6, necesidad y justificación económica de la protección contra el rayo.

- Sección 8. Criterios básicos para la protección de las estructuras.
 - 1.Tabla 3. Valores máximos de los parámetros del rayo correspondiente a los NPR.
 - 2.Tabla 4. Valores mínimos de los parámetros del rayo y radio de la esfera rodante asociada, correspondientes a los niveles de protección.
 - 3.Tabla 5. Probabilidades de los límites de los parámetros de la corriente del rayo.
 - 4.Figura 3. Zonas de protección contra rayo (ZPR) definidas para un SPCR (NTC 455-3) (IEC 62035-3).
- Anexo a. Parámetros de la corriente del rayo (que contiene la NTC 4552-1).

Norma NTC 4552 parte 2.

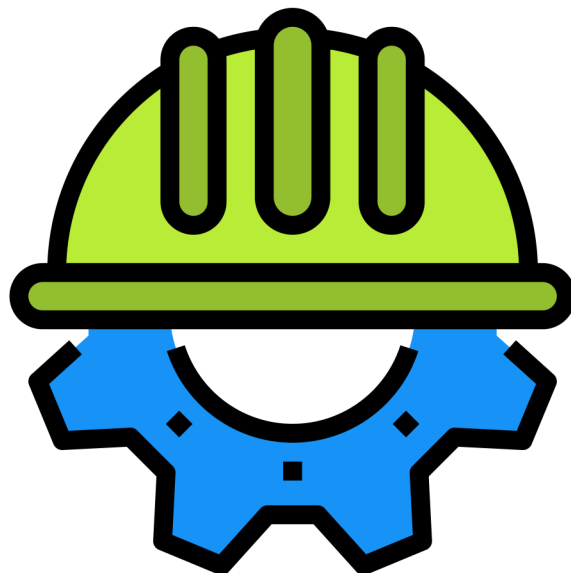
Recomendaciones:

- Subsección 4.1.3. Tipo de pérdidas.
 - 1.Tabla 1. Fuentes de daños, tipo de daños y tipo de pérdidas en función del punto de impacto.
- Subsección 4.3. Composición de los componentes del riesgo en relación con la estructura.
 - 1.Tabla 2. Factores que influyen en los componentes del riesgo.
 - 2.Tabla 3. Factores que influyen en los componentes del riesgo.
- Sección 5. Evaluación de los riesgos.
 - 1.Tabla 4. Valores típicos del riesgo tolerable RT.
 - 2.Figura 1. Procedimientos para establecer la necesidad de protección y seleccionar las medidas de protección.
 - 3.Figura 2. Procedimiento para evaluar la rentabilidad económica de las medidas de protección.
- Sección 6. Evaluación de las componentes de riesgo.
 - 1.Tabla 5. Parámetros asociados a la evaluación de los componentes del riesgo para una estructura.
 - 2.Tabla 6. Componentes del riesgo de diferentes tipos y fuentes de daños.
- Anexo A (Informativo) Evaluación del número anual de eventos peligrosos (que contiene la NTC 4552-2)
- Anexo D (Informativo) Evaluación del costo de pérdidas LX en una estructura. (que contiene la NTC 4552-2) (Puede servir para otro ítem)
- Anexo D (Informativo) Evaluación del costo de pérdidas (que contiene la NTC 4552-2) (Puede servir para otro ítem)
- Anexo E (Informativo) Casos de estudio (que contiene la NTC 4552-2) (Es para casa rural, un edificio de oficinas, un hospital y un edificio de apartamentos)

Norma NTC 4552 parte 3.

Recomendaciones:

- Sección 4. Sistemas de protección contra rayos (SIPRA).
 - 1.Tabla 1. Relación entre las clases de SIPRA y el NPR.
- Sección 5. Sistemas de protección externo (SPE).
 - 1.Tabla 2. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección.
 - 2.Tabla 3. Dimensiones del enmallado para los diferentes niveles de protección.
 - 3.Tabla 4. Mínimo espesor para cobertizos metálicos o tuberías metálicas en sistemas de captación.
 - 4.Tabla 5. Material, Configuración y Mínima área de la sección transversal para cables o varillas del sistema de captación y los conductores bajantes.
 - 5.Tabla 6. Distancias de separación promedio para conductores bajantes.
 - 6.Tabla 7. Materiales y condiciones de uso en un SIPRA.
 - 7.Tabla 8. Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de los electrodos de tierra. (Puede servir para otro ítem)
- Sección 6. Sistema de protección interno.
 - 1.Tabla 9. Dimensiones mínimas de los conductores que conectan barras equipotenciales o que conectan barras equipotenciales con el sistema de puesta a tierra.
 - 2.Tabla 10. Dimensiones mínimas de los conductores que conectan instalaciones internas metálicas a la barra equipotencial.
 - 3.Tabla 11. Valores del coeficiente K_i para aislamiento externo.
 - 4.Tabla 12. Valores del coeficiente K_c para aislamiento externo.
 - 5.Tabla 13. Valores del coeficiente K_m



E

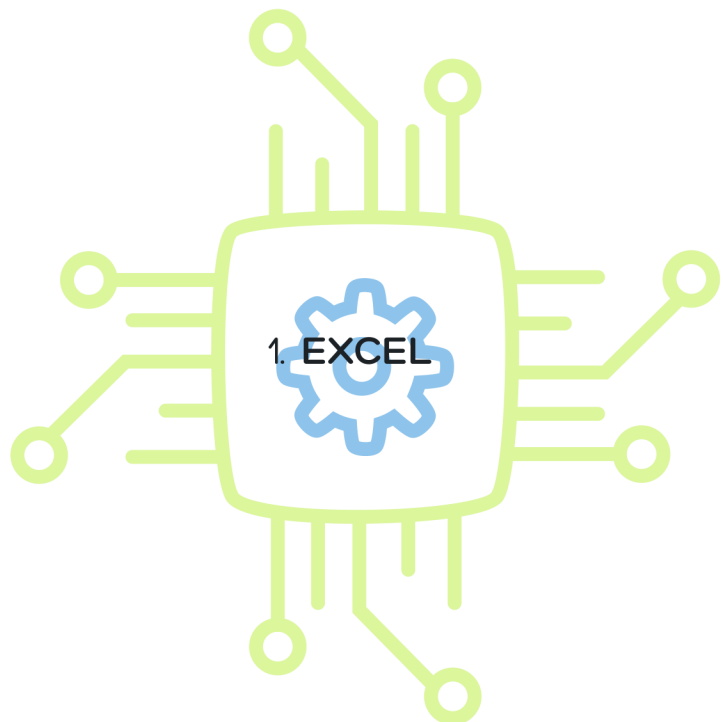
ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS.

DEFINICIÓN



El análisis de riesgos de origen eléctrico se realiza para identificar y evaluar los posibles riesgos relacionados con el funcionamiento y uso de las instalaciones eléctricas. Su objetivo principal es garantizar la seguridad de las personas, las propiedades y el medio ambiente, mientras se cumple con las regulaciones y estándares aplicables para la operación y uso de instalaciones eléctricas. Se busca determinar las medidas necesarias para mitigar o reducir los riesgos identificados a través del análisis, a fin de evitar posibles daños y pérdidas materiales y humanas.

SOFTWARE DE APOYO



EJEMPLO

A continuación, se muestra un modelo de matriz, para un factor de riesgo eléctrico, en este caso por arcos eléctricos en el diseño de una instalación eléctrica.

FACTOR DE RIESGO POR ARCOS ELÉCTRICOS										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos y cortocircuitos.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar avisos de precaución, tableros bien cerrados y debidamente rotulados.										
RIESGO A EVALUAR:	Quemadura por Arcos Eléctricos (al) o (en) TABLEROS ELÉCTRICOS				FUENTE					
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO (CAUSA)					
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	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa					
	Una o mas muertes E5	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	MEDIO	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 E2	Efecto menor	Local E2	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto E1	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

NORMATIVA APLICABLE



RETIE - Artículo 9º.

Recomendaciones:

- Sección 9.2.1. Matriz de análisis de riesgos. (En la tabla 9.3 está la matriz para análisis de riesgos y la tabla 9.4 están las decisiones y acciones para controlar el riesgo.)
- Sección 9.3. Factores de riesgo eléctrico más comunes. (En la tabla 9.5. se tiene los factores de riesgos eléctricos más comunes.)

F

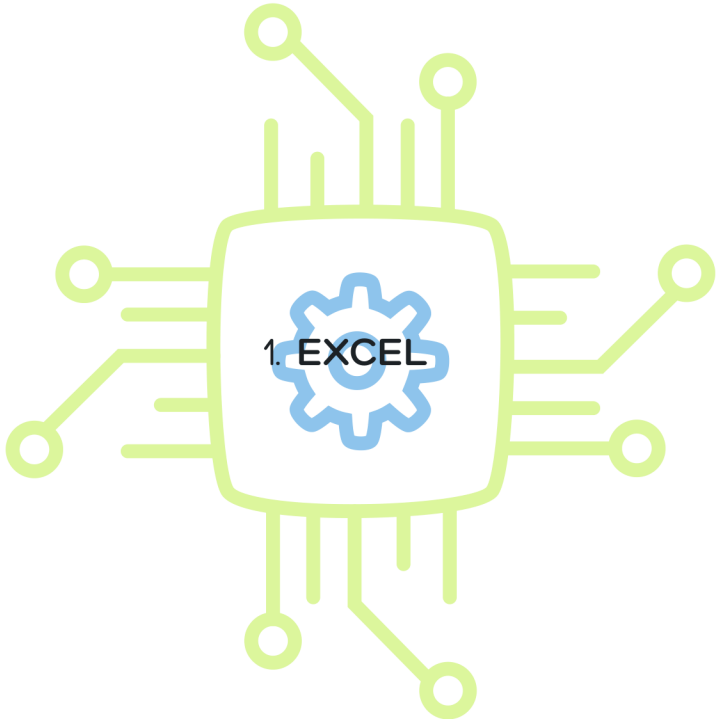
ANÁLISIS DEL NIVEL TENSIÓN REQUERIDO.

DEFINICIÓN



EL ANÁLISIS DEL NIVEL DE TENSIÓN REQUERIDO SE UTILIZA PARA DETERMINAR LA TENSIÓN ELÉCTRICA NECESARIA PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN PARTICULAR. PARA ELLO, SE CONSIDERAN LAS CARGAS ELÉCTRICAS DE LA INSTALACIÓN Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA. EN ESTE PROCESO, SE LLEVA A CABO UN ANÁLISIS DETALLADO DE LA CARGA ELÉCTRICA Y LAS NECESIDADES DE TENSIÓN PARA DETERMINAR LA MEJOR CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y LA TENSIÓN ADECUADA QUE PERMITA EL FUNCIONAMIENTO EFICIENTE Y SEGURO DE LA INSTALACIÓN.

SOFTWARE DE APOYO



EJEMPLO

Teniendo en cuenta que esta guía se centra en el diseño de instalaciones eléctricas para uso final, un ejemplo de este análisis puede ser el siguiente:

Los sistemas de tomas normales e iluminación requieren de una tensión de 120 [v] como tensión normalizada y además pueden existir cargas que funcionan con tensiones de línea de 208 [v], considerando estos sistemas se encuentran en baja tensión (BT) y el suministro de energía que proporciona el operador de red tiene un voltaje de media tensión de 13200 [v]

Por ende, se necesitaría de un transformador con un nivel de tensión de 13200 [v] por alta tensión y 208/120 [v] por el lado de baja tensión.

NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 2050 Subsección 220.5.

Recomendaciones:

- Subsección 220-5. Cálculos (a) tensiones.

Norma NTC 1340 Subsección 220.5.

Recomendaciones:

- Sección 4. Características de la tensión.
 - 1.Tabla 2. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal.
- Anexo B (informativo) Tensiones no normalizadas en uso por algunos operadores de red en Colombia.



CÁLCULO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PARA ASEGURAR QUE, EN ESPACIOS DESTINADOS A ACTIVIDADES RUTINARIAS DE LAS PERSONAS, NO SE SUPEREN LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DEFINIDOS EN LA TABLA 14.1.

DEFINICIÓN

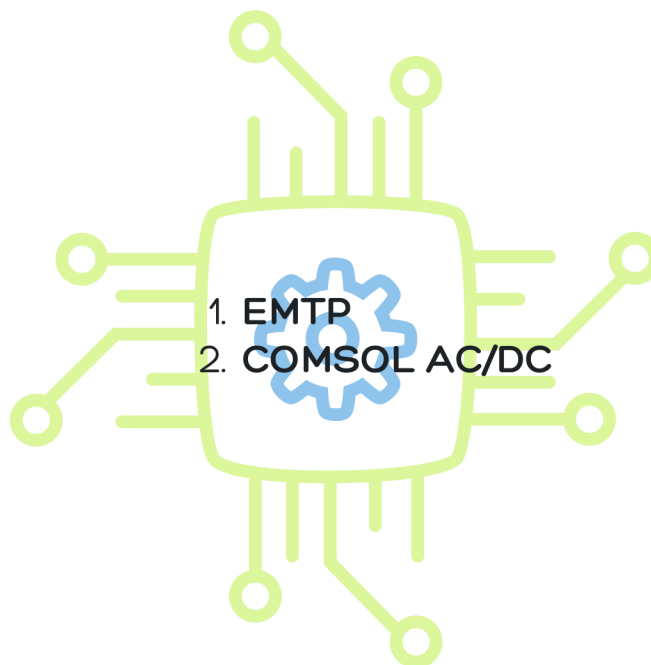


El análisis de los campos electromagnéticos es fundamental para asegurar que los campos generados por una instalación eléctrica no presenten un riesgo para la salud de las personas. Si los campos electromagnéticos superan los límites de exposición establecidos en la Tabla 14.1, podrían causar efectos nocivos en la salud, ya que estos límites se basan en los estándares internacionales de seguridad eléctrica y se definen en términos de la densidad de potencia, así como del campo eléctrico y magnético. El cálculo de estos campos se realiza para garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y proteger la salud de las personas.

El cálculo de campos electromagnéticos se realiza utilizando modelos matemáticos y software de simulación para determinar la intensidad de los campos electromagnéticos generados por la instalación eléctrica en diferentes puntos de medición

SOFTWARE DE APOYO

1. EMTP
2. COMSOL AC/DC



EJEMPLO

Dado que este proyecto de investigación se centra específicamente para el diseño de instalaciones eléctricas en uso final este análisis no es requerido para este tipo de proyectos en los que tiene de foco esta guía ya que no existen fuentes de campos electromagnéticos de alta frecuencia en las cercanías de estos proyectos.

NORMATIVA APLICABLE



RETIE - Artículo 14.

Recomendaciones:

- Subsección 14.3 Valores límites de exposición a campos electromagnéticos. (En la tabla 14.1 se encuentran los valores límites de exposición a campos electromagnéticos.)
- Subsección 14.4 Cálculo y medición de campos electromagnéticos.



CÁLCULO DE TRANSFORMADORES INCLUYENDO LOS EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN LA CARGA.

DEFINICIÓN

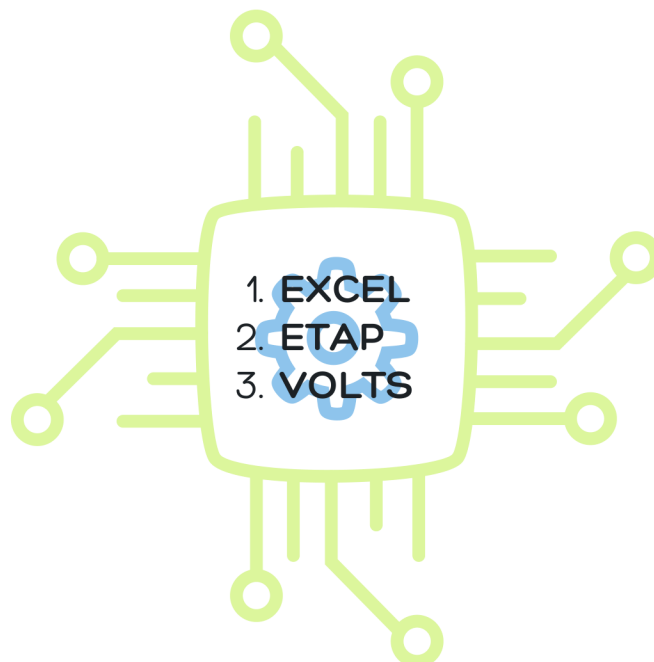


El cálculo de transformadores con la consideración de los efectos de los armónicos y el factor de potencia en la carga. Este cálculo implica una evaluación detallada de la carga eléctrica para determinar la presencia de armónicos y el factor de potencia. Para ello, se pueden utilizar herramientas de software de simulación que permiten modelar la carga y evaluar los efectos de los armónicos y el factor de potencia en el rendimiento del transformador, garantizando un funcionamiento eficiente y seguro de la instalación eléctrica.

Con esta información, se puede determinar la capacidad adecuada del transformador para manejar la carga eléctrica de manera eficiente y segura, y se pueden tomar medidas para mitigar los efectos de los armónicos y mejorar el factor de potencia.

SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL
2. ETAP
3. VOLTS



EJEMPLO

Para efectos del cálculo del transformador en el siguiente ejemplo luego de haber realizado el análisis sobre la carga de demanda, se llegó a la conclusión de que se requiere dar suplencia a una carga de 55 kva, Teniendo la carga demandada para el proyecto se estima una proyección futura de un tiempo alrededor de 20 a 30 años, en este caso se proyectó a 25 años, con un crecimiento anual del 1%, el cual es suficiente para este tipo de proyectos, para ello se realiza el siguiente calculo:

$$\text{Carga del transformador} = \text{carga demandada} + \text{proyección} * (25\%)$$

$$\text{Carga del transformador} = 55 + (55 * 0.25) = 68.75 \text{ [kVA]}$$

Finalmente se selecciona un transformador con capacidad nominal y comercial por arriba del valor obtenido el cual corresponde a 75 KVA trifásicos, teniendo así el prototipo del transformador que se instalará en el proyecto.

Transformador [75kVA]		
Carga Total [kVA]	75	
Relacion de transformación	13,2[kV]/208-120[V]	
Tipo de conexión	DY5	
Frecuencia de operación	60 [Hz]	
Uz%	3.5%	
Voltajes [V]	13200	208
Corrientes nominales [A]	3.28039926	208.179184
Corriente de cortocircuito [A]	93.7256931	5947.97667

Con el fin de seleccionar adecuadamente los conductores cuando existen armónicos en la red, se seguirán los lineamientos establecidos en la norma IEC. Como primer paso se deben definir las características de las cargas respecto a si son o no lineales y la forma más simple de hacerlo es definir como cargas no lineales todas aquellas que utilizan componentes electrónicos. Una vez que se ha definido la linealidad o no linealidad de la carga, se debe definir la distorsión armónica (THD) que genera la misma, en teoría este dato debe ser suministrado por los fabricantes de las diferentes cargas, sin embargo, en la práctica muchas veces este dato no se conoce. En el caso de que no se conozca la THD de un producto, se deberá asumir un valor característico basado en cargas similares o información encontrada.

Una vez conocida la THD de diferentes cargas, se procede a aplicar los factores de corrección de los conductores que se encuentran en la norma IEC 6036.

NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 618.

Recomendaciones

- Subsección 8.4.13 Factor armónico.

Norma NTC 5019.

Recomendaciones:

- Sección 5.2 Tipos de medición según su conexión.
- Sección 5.3 Clasificación del medidor de energía por su complejidad. (En la tabla 1 se encuentra la clasificación del medidor de energía eléctrica por su complejidad)
- SUBsección 6.4.1 Selección de transformadores de corriente. (En la tabla 2 se encuentra la selección de medidores de energía y en la tabla 4 se encuentra la selección de transformadores de medida)

Norma IEEE 519.

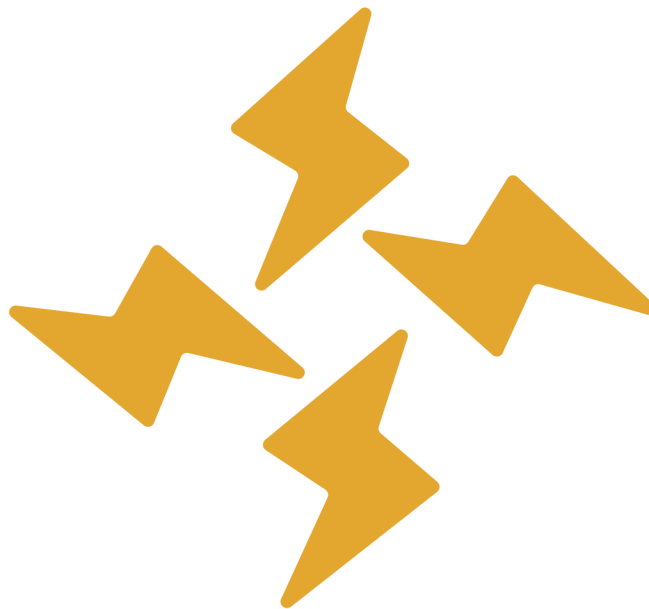
Recomendaciones:

- Tabla 2 Límites de corriente de armónicos para sistemas entre 120 V y 69 Kv

Norma NTC 818.

Recomendaciones:

- Sección 4 Requisitos. (En la tabla 1 se encuentran los valores máximos permisibles de tensión de cortocircuito y corriente sin carga para 85 °C según la potencia nominal del transformador y en la tabla 2 se encuentran los niveles mínimos de eficiencia para transformadores monofásicos)



CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

DEFINICIÓN



El cálculo del sistema de puesta a tierra es un procedimiento que busca determinar los parámetros necesarios para diseñar un sistema que garantice la conexión eléctrica segura y efectiva de los equipos y estructuras de una instalación a la tierra. Este proceso se realiza con el objetivo de proteger a las personas y los equipos de los peligros eléctricos, y mejorar la calidad del suministro eléctrico. En el cálculo se deben determinar la resistencia de la tierra y la corriente de falla máxima que puede fluir a través del sistema, para que puedan ser utilizados en el diseño de los componentes adecuados, como conductores, electrodos, conexiones, entre otros.

SOFTWARE DE APOYO

- 
1. LSPS DE LS.
 2. IPI2WIN
 3. ETAP
 4. DGSYS
 5. CYMGRD
 6. CYPELEC GROUNDING IEC

IEEE std 80 - 2013.

Recomendaciones:

- Sección 9 Principales consideraciones de diseño.
- Sección 14 Evaluación de la resistencia a tierra. (En la tabla 9 se encuentra la resistencia típica de cuadrículas)
- Sección 16 Diseño del sistema de puesta a tierra. (En la tabla 11 se encuentra la relación típica del voltaje de malla de esquina/centro, en la figura 32 se encuentra el diagrama de bloques del procedimiento de diseño y en la tabla 12 se encuentra el índice de parámetros de diseño)

RETIE - Artículo 15.

Recomendaciones:

- Sección 15.1 Requisitos generales de un sistema de puesta a tierra.
- Sección 15.2 Diseño del sistema de puesta a tierra.
- Sección 15.3 Materiales de los sistemas de puesta a tierra. (En la tabla 15.2 se encuentran los requisitos para electrodos de puesta a tierra y la tabla 15.3 muestra las constantes de materiales de la norma IEEE 80)
- Sección 15.4 Valores de referencia de resistencia de puesta a tierra. (En la Tabla 15.4 se muestran los valores de referencia para resistencia de puesta a tierra)
- Sección 15.5 Mediciones para sistemas de puesta a tierra. (En la figura 15.5 se muestra un esquema de medición de resistencia de puesta a tierra)
- Sección 15.6 Mantenimiento de sistemas de puesta a tierra. (En la tabla 15.5 se muestra el máximo periodo entre mantenimientos de un SPT)

Norma NTC 2050 artículo 250.

Recomendaciones:

- Subsección 250-1. Alcance (en las notas se encuentran los requisitos de un sistema de puesta a tierra)
- Subsección 250-3. Sistemas de corriente continua C.C (en esta subsección se muestran los sistemas de corriente continua que se deben poner a tierra)
- Subsección 250-4. Circuitos y sistemas de corriente alterna A.C que se deben poner a tierra.
- Subsección 250-7, circuitos que no se deben poner a tierra.
- Subsección 250-21. Corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra.
- Subsección 250-23. Puesta a tierra de sistemas de A.C alimentados desde una acometida.
- Subsección 250-24. Dos o más edificaciones o estructuras alimentadas desde una acometida común (en el apartado D, se encuentra las características del conductor de puesta a tierra).

- Subsección 250-25. Conductor que se debe poner a tierra en sistemas de corriente alterna.
 - Subsección 250-26. Puesta a tierra de sistemas derivados independientes de corriente alterna.
 - Subsección 250-32. Encerramientos y canalizaciones de la acometida.
 - Subsección 250-42. Equipos fijos o conectados por métodos de alambrado permanente.
 - Subsección 250-45. Equipos conectados con cordón y clavija (en el apartado c se encuentran los equipos en ocupaciones residenciales y en el apartado d los equipos en ocupaciones no residenciales)
 - Subsección 250-81. Instalación del electrodo de puesta a tierra del sistema.
 - Subsección 250-93. Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra para corriente continua.
 - Subsección 250-94. Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de corriente alterna (en la tabla 250-94, se encuentra la clasificación de estos conductores)
 - Subsección 250-95. Calibre de los conductores de puesta a tierra de los equipos (en la tabla 250-95. Se encuentra el calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos)
-



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

DEFINICIÓN



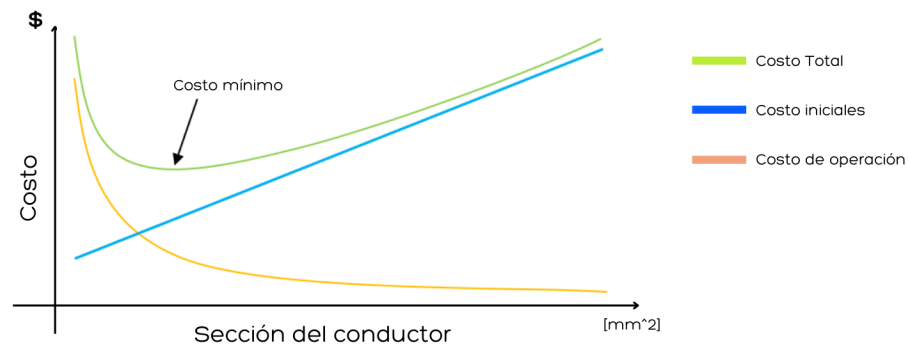
Para calcular los conductores eléctricos adecuados en una instalación, es importante determinar el tamaño óptimo para lograr una eficiencia óptima y reducir los costos. Este proceso de cálculo económico implica considerar diversos factores, como las cargas que se aplicarán a los conductores, la temperatura ambiente y la corriente máxima admisible. Además, es necesario evaluar los costos de energía a largo plazo y las pérdidas asociadas con la conducción de la electricidad a través de los conductores. El objetivo final es encontrar un equilibrio entre el tamaño de los conductores y los costos de energía para minimizar los costos totales de la instalación.

SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL
2. CABLE CALCULATIONS
3. ETAP
4. VOLTS
5. INSTALLATION OPTIMIZER

EJEMPLO

Principalmente se tiene en cuenta en circuitos de largas distancias y con magnitud de corrientes grandes, como lo son en circuitos de distribución y líneas de transmisión en donde seleccionar de una manera adecuada el conductor puede resultar en un significativo ahorro económico. Para ello se debe tener en cuenta primeramente las características del conductor que se debe seleccionar y posteriormente elegir adecuadamente los conductores comerciales que cumplan con las especificaciones y a su vez sea óptima al momento de realizar la inversión en dichos conductores. Se debe tener en cuenta la curva de costos iniciales versus costo de las pérdidas u operación, una curva de la siguiente manera:



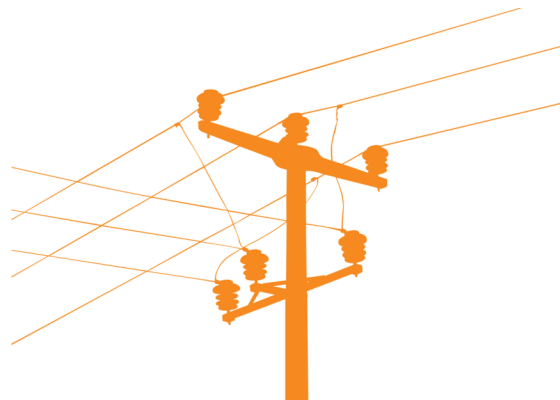
NORMATIVA APLICABLE



Guía técnica colombiana (GTC) 221.

Recomendaciones:

- Sección 4 Cálculo de costos totales.
- Sección 5 Determinación de las secciones económicas de conductor.
- Anexo A Ejemplos de cálculos de secciones de conductor económicas. (En la tabla A.1 se encuentran los rangos de corrientes económicas para secciones de conductores de cables desde 26 mm² hasta 400 mm², en la tabla A.2 se encuentra el resumen de costos, en la tabla A.3 se encuentran los detalles del cable, en la tabla A.4 se encuentra la carga económica, en la tabla A.5 se encuentra el criterio de capacidad de transporte de corriente, de la tabla A.6 a la tabla A.8 se encuentran las cargas económicas según las secciones normalizadas del conductor, en la tabla A.11 se encuentran los costos totales y en la tabla A.12 se encuentran los costos totales vs. la vida útil prevista)



K VERIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA EL TIEMPO DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES, LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE LA RED Y LA CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CONDUCTOR DE ACUERDO CON LA NORMA IEC 60909, IEEE 242, CAPÍTULO 9 O EQUIVALENTE.

DEFINICIÓN



En este proceso se determinan si los conductores cumplen con los requisitos técnicos aplicables para la capacidad de corriente y protección contra cortocircuitos se realiza en una instalación eléctrica. Para ello, se deben evaluar varios factores, con el objetivo de garantizar la seguridad y fiabilidad de la instalación eléctrica. Esto incluye la evaluación de los requisitos técnicos aplicables y la verificación de que los conductores cumplen con ellos. Es esencial llevar a cabo este proceso para garantizar la seguridad de la instalación eléctrica y evitar problemas en el futuro.

SOFTWARE DE APOYO



- 
1. EXCEL
 2. INSTALLATION OPTIMIZER
 3. CABLE CALCULATIONS

EJEMPLO

Primero se debe calcular la corriente continua para los diferentes tipos de sistemas (monofásicos, trifásicos o bifásicos) para ello se tienen las siguientes formulas:

- Circuito monofásico:
$$I_o = \frac{P}{V_l \cdot F_p}$$
- Circuito bifásico:
$$I_o = \frac{P}{(2/\sqrt{3}) \cdot (V_l \cdot F_p)}$$
- Circuito trifásico:
$$I_o = \frac{P}{(\sqrt{3}) \cdot V_l \cdot F_p}$$

Siguiendo la norma NTC 2050, los alimentadores, acometidas o circuitos ramales deben tener una capacidad nominal del 100% de la carga no continua más el 125% de la carga continua, utilizando la siguiente formula:

$$I_n = I_o \cdot (1.25)$$

Los conductores seleccionados deben tener una capacidad de corriente igual o mayor a la corriente nominal del circuito, de esta manera se establece el calibre mínimo de los conductores.

- En las tablas de la sección 310.15 de la norma NTC 2050 se muestran los factores de corrección que se deben aplicar cuando el número de conductores es mayor a 3 en una canalización o dependiendo la temperatura ambiente.

Mediante el cuadro de cargas y teniendo en cuenta la coordinación de protecciones, se realiza la verificación de la selección de conductores teniendo en cuenta la capacidad de corriente calculada.

Selección de conductor para Alimentación TGA-PC-1			
Carga de demanda máxima [kVA]:	15,32	Número de fases:	3
Factor de potencia:	0,96	Temperatura de conductor [°C]:	60
Potencia activa total [kW]:	14,71	Fuente de alimentación:	Transformador
Potencia reactiva total [kVA]:	4,29	Llegada de conductor:	Tablero de medida
Voltaje de línea [V]:	208	Distancia recorrida [m]:	35
Voltaje de fase [V]:	120	Caída de tensión [%]:	1,974%
Corriente calculada [A]:	42,54	Pérdidas de potencia [%]:	1,083%
Corriente calculada + 25%[A]:	53,17	Caída de tensión Acumulada [%]:	4,454%
Protección seleccionada[A]:	3x50	Calibre del conductor AWG/Kcmil (F y N):	6
		Calibre del conductor AWG/Kcmil (T):	8
		Número de conductores por fase y neutro:	1
Tipo de conductor seleccionado AWG/Kcmil (F y N):		THHN/THWN 3x6 (F)+1x6(N)	AWG

La selección mínima que debe tener el conductor debido a la corriente de cortocircuito se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{I_{cc} \cdot \sqrt{t}}{K} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Donde:

S-> Sección del conductor en [mm²]

I_{cc}-> Corriente de corto circuito esperada [A]

T-> Tiempo de despeje de la falla [s]

K-> Factor de temperatura (según aislante y material del conductor)

NORMATIVA APLICABLE



Norma IEC 60909-0.

Recomendaciones:

- Sección 2 Características de las corrientes de cortocircuito: método de cálculo. (En la tabla 2 se encuentra el factor c para el cálculo de las corrientes máximas y mínimas de cortocircuito)
- Sección 4 Cálculo de corrientes de cortocircuito. (En la sección 4.2 se encuentran las fórmulas para calcular las corrientes de cortocircuito, en la tabla 3 se encuentra el cálculo de las corrientes de cortocircuito de los motores asíncronos en el caso de un cortocircuito en los terminales)

Norma IEEE 242 capítulo 9.

Recomendaciones:

- Sección 9.4 Protección contra corrientes de cortocircuito de cables. (En la tabla 9.1 se encuentra el aumento de temperatura del blindaje y la cubierta debido a la corriente de falla a tierra, en la tabla 9.2 se encuentran las temperaturas máximas de cortocircuito, de la tabla 9.3a hasta la tabla 9.3e se encuentran los tiempos estimados para el mantenimiento de los dispositivos de protección como los fusibles)
 - Sección 9.5 Protección de sobrecarga de cables. (En la tabla 9.4 se encuentra la carga típica normal y de emergencia de cables aislados)
 - Sección 9.6 Protección física de los cables.
 - Sección 9.8 Protección de electroductos. (En la tabla 9.8 se encuentran los valores nominales mínimos de corriente de cortocircuito de electroductos)
-

RETIE artículo 20.2.

Recomendaciones:

- Tabla 20.1 Requisitos particulares para alambre de cobre suave.
 - Tabla 20.2 Requisitos para cables de cobre suave cableados de clase A, B, C y D.
 - Tabla 20.3 Requisitos para cables de aluminio o aluminio recubierto en cobre - AAC.
 - Tabla 20.4 Requisitos para cables de aluminio con refuerzo de acero - ACSR.
 - Tabla 20.5 Requisitos para cables de aleaciones de aluminio clase A y AA de AAAC.
 - Tabla 20.6 Requisitos para alambres y cables aislados.
 - Tabla 20.7 Requisitos para clase 1 - alambres. (Adaptada de IEC 60228)
 - Tabla 20.8 Espesor mínimo del aislamiento. (Adaptada de IEC 60502-1)
 - Tabla 20.9 Requisitos para clase 2 (cables).
-



CÁLCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECIÓN DE EQUIPOS.

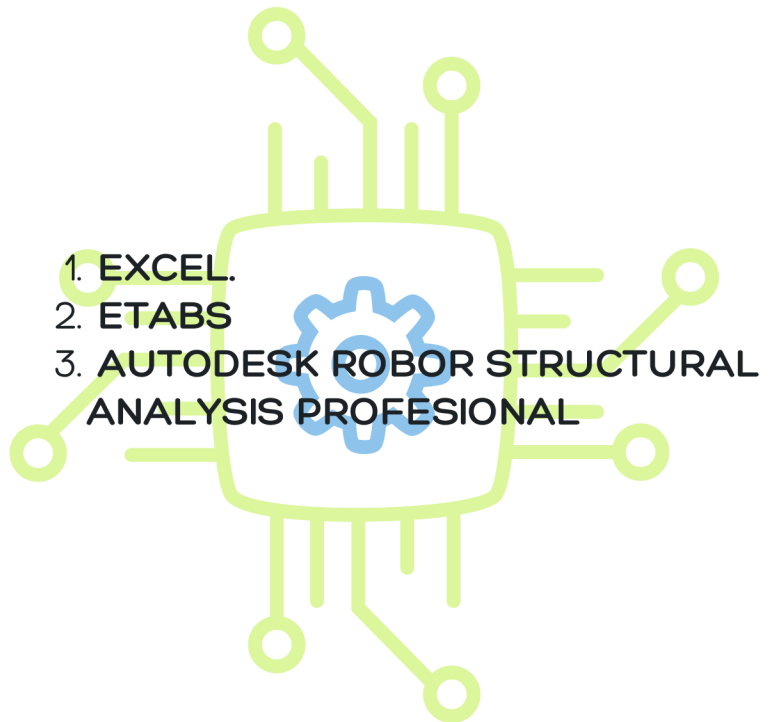
DEFINICIÓN



Para garantizar la seguridad y fiabilidad de una instalación eléctrica, se debe determinar la resistencia mecánica de las estructuras y elementos que sostienen los equipos eléctricos, electrónicos y electromecánicos. El cálculo mecánico implica evaluar factores como la carga máxima que puede soportar la estructura, la resistencia de los materiales utilizados, el tipo de unión y el diseño de la estructura o elemento de sujeción. El propósito del cálculo mecánico es asegurar que las estructuras y elementos de sujeción sean capaces de soportar las cargas mecánicas y vibraciones generadas por los equipos, así como las condiciones ambientales y de operación, minimizando el riesgo de fallas mecánicas y daños a los equipos y las personas.

SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL.
2. ETABS
3. AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESIONAL





EJEMPLO

Para la elección de estructuras utilizadas se sigue la norma ntc 1329 del 2013 en la cual se establecen los parámetros geométricos, las cargas de servicio o trabajo para cada una de las referencias de postes especificados y las cargas mínimas de rotura para todos los postes de concreto.

Para realizar una correcta selección de estructura se debe tener en cuenta características fundamentales como lo son:

- Velocidad de viento
- Vano
- Angulo de inflexión
- Factor de seguridad
- Distancia del conductor más bajo desde la cima

Cálculos mecánicos para apoyos en postes																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Datos para cálculo de apoyo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>poste seleccionado</td> <td>12 m</td> </tr> <tr> <td>Carga de rotura</td> <td>1050 kgf</td> </tr> <tr> <td>Conductor seleccionado</td> <td>4/0 AWG</td> </tr> <tr> <td>Material</td> <td>Cu</td> </tr> <tr> <td>Carga de rotura</td> <td>3790 kgf</td> </tr> <tr> <td>Número de conductores</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Velocidad del viento</td> <td>30 km/h</td> </tr> <tr> <td>Vano viento</td> <td>30 m</td> </tr> <tr> <td>ángulo de inflexión</td> <td>15 °</td> </tr> <tr> <td>Factor de seguridad</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>Distancia del conductor más bajo desde cima</td> <td>0,8 m</td> </tr> </tbody> </table>		Datos para cálculo de apoyo		poste seleccionado	12 m	Carga de rotura	1050 kgf	Conductor seleccionado	4/0 AWG	Material	Cu	Carga de rotura	3790 kgf	Número de conductores	3	Velocidad del viento	30 km/h	Vano viento	30 m	ángulo de inflexión	15 °	Factor de seguridad	2,5	Distancia del conductor más bajo desde cima	0,8 m				
Datos para cálculo de apoyo																													
poste seleccionado	12 m																												
Carga de rotura	1050 kgf																												
Conductor seleccionado	4/0 AWG																												
Material	Cu																												
Carga de rotura	3790 kgf																												
Número de conductores	3																												
Velocidad del viento	30 km/h																												
Vano viento	30 m																												
ángulo de inflexión	15 °																												
Factor de seguridad	2,5																												
Distancia del conductor más bajo desde cima	0,8 m																												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Momento resistente</td> <td>4284,00</td> </tr> <tr> <td>Momento de apoyo</td> <td>49,16</td> </tr> <tr> <td>Momento conductores</td> <td>51,17</td> </tr> <tr> <td>Momento por tensión</td> <td>2232,06</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">El poste funciona</td> </tr> </tbody> </table>		Momento resistente	4284,00	Momento de apoyo	49,16	Momento conductores	51,17	Momento por tensión	2232,06	El poste funciona																			
Momento resistente	4284,00																												
Momento de apoyo	49,16																												
Momento conductores	51,17																												
Momento por tensión	2232,06																												
El poste funciona																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Cálculos relacionados postes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diámetro cima</td> <td>19 cm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro base</td> <td>37 cm</td> </tr> <tr> <td>Profundidad de cimentación</td> <td>1,8 m</td> </tr> <tr> <td>Área aproximada de poste</td> <td>2,856 m²</td> </tr> <tr> <td>Presión del viento Pv</td> <td>3,78 kg/h</td> </tr> <tr> <td>Carga del viento Fp</td> <td>10,80 kg</td> </tr> <tr> <td>Altura de aplicación H1</td> <td>4,5536 m</td> </tr> </tbody> </table>	Cálculos relacionados postes		Diámetro cima	19 cm	Diámetro base	37 cm	Profundidad de cimentación	1,8 m	Área aproximada de poste	2,856 m ²	Presión del viento Pv	3,78 kg/h	Carga del viento Fp	10,80 kg	Altura de aplicación H1	4,5536 m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Cálculos relacionados conductores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diámetro del conductor</td> <td>1,6 cm</td> </tr> <tr> <td>Número de conductores iguales</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Grad a Rad</td> <td>0,2617994</td> </tr> <tr> <td>Carga del viento en conductor Fv</td> <td>5,44</td> </tr> <tr> <td>Fuerza por cambio de dirección FT</td> <td>237,45325</td> </tr> </tbody> </table>	Cálculos relacionados conductores		Diámetro del conductor	1,6 cm	Número de conductores iguales	3	Grad a Rad	0,2617994	Carga del viento en conductor Fv	5,44	Fuerza por cambio de dirección FT	237,45325
Cálculos relacionados postes																													
Diámetro cima	19 cm																												
Diámetro base	37 cm																												
Profundidad de cimentación	1,8 m																												
Área aproximada de poste	2,856 m ²																												
Presión del viento Pv	3,78 kg/h																												
Carga del viento Fp	10,80 kg																												
Altura de aplicación H1	4,5536 m																												
Cálculos relacionados conductores																													
Diámetro del conductor	1,6 cm																												
Número de conductores iguales	3																												
Grad a Rad	0,2617994																												
Carga del viento en conductor Fv	5,44																												
Fuerza por cambio de dirección FT	237,45325																												

NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 1329

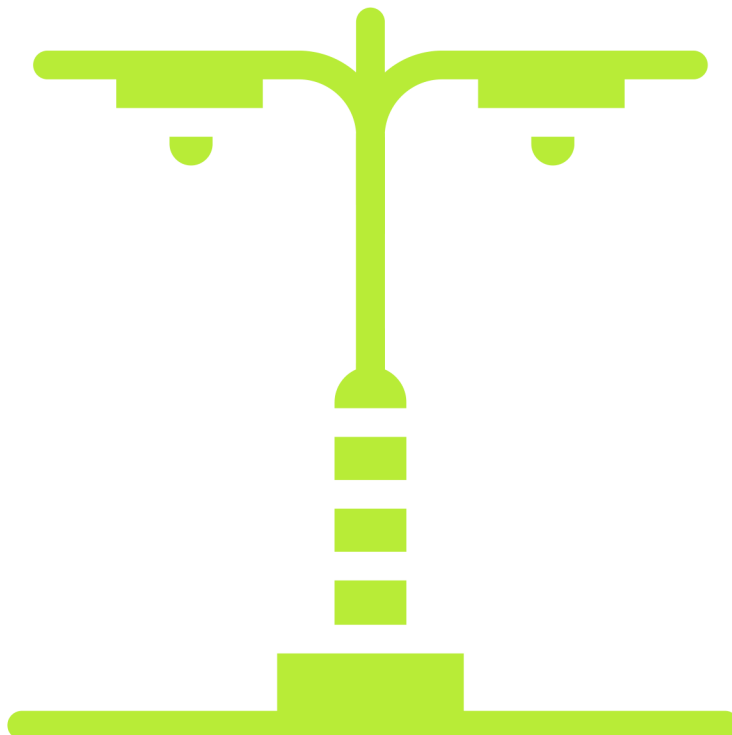
Recomendaciones:

- Sección 4.2. Parámetros geométricos.
Tabla 1. Parámetros geométricos.
- Sección 4.3. Parámetros de carga
Tabla 2. Cargas de servicio o trabajo.
Tabla 3. Carga mínima de rotura.
- Sección 4.4. Deformaciones bajo carga (flechas).
Tabla 4. Deformaciones permanentes y bajo carga.
- Sección 4.2. Requisitos para durabilidad.
Tabla 5. Requisitos para durabilidad de postes.
- Sección 4.6. Longitud de empotramiento.

RETIE Artículo 20.4.

RETIE Artículo 25.4.

RETIE Artículo 25.5.



M

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

DEFINICIÓN



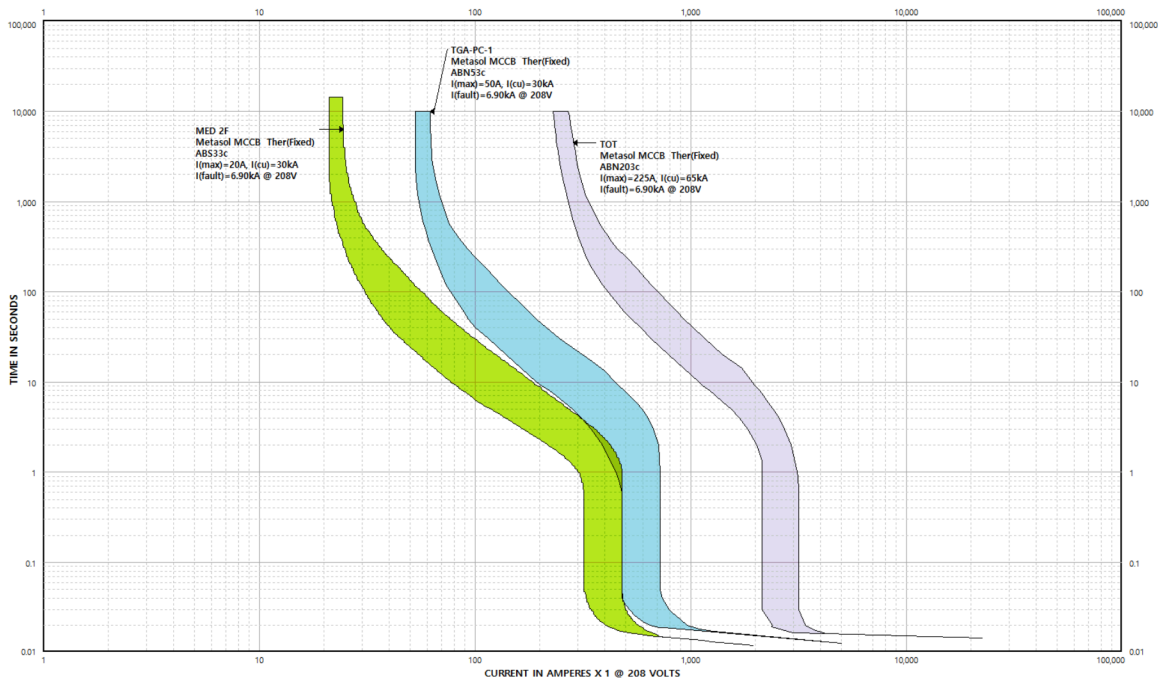
Para garantizar la seguridad de la instalación eléctrica y proteger los equipos y las personas de los daños eléctricos, es necesario realizar un cálculo de coordinación de protecciones. Este cálculo implica determinar la corriente de falla en cada punto del sistema eléctrico considerando la impedancia de los componentes y las cargas conectadas. Luego, se seleccionan y ajustan los dispositivos de protección eléctrica para que el dispositivo más cercano a la falla se active en caso de una sobrecarga o cortocircuito, limitando la corriente eléctrica y evitando que otros dispositivos de protección se activen en otros puntos del sistema eléctrico. De esta manera, se minimiza el impacto de la falla y se reduce el tiempo de inactividad del sistema eléctrico.

SOFTWARE DE APOYO

- 
1. LSPS DE LS.
 2. ETAP
 3. ECODIAL
 4. INSTALLATION OPTIMIZER
 5. CST STUDIO SUITE
- 

EJEMPLO

En el software LSPS con el esquema mostrado en el ítem c, se realizó la coordinación de protecciones contra sobrecorrientes y observamos las curvas de los interruptores con las que se hace el análisis según las corrientes de cortocircuito que muestra la simulación, para cumplir con la protección del sistema.



NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 2050 artículo 210.

Recomendaciones:

- Subsección 210-8. Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra.
- Subsección 210-19. Conductores: capacidad de corriente y sección trasversal mínima.
- Subsección 210-20. Protección contra sobrecorriente.
- Subsección 210-21. Dispositivos de salida (en la tabla 210-21. B).2). Se encuentra la carga máxima conectada a un tomacorriente para artefactos con cordón y clavija)
- Subsección 210-22 cargas máximas.
- Subsección 210-24. Requisitos de los circuitos ramales (en la tabla 210-24. Se encuentra un resumen de requisitos de los circuitos ramales)

Norma NTC 2050 Artículo 240.

Recomendaciones:

- Subsección 240-4. Protección de los cordones flexibles y cables de artefactos.
 - Subsección 240-6. Corrientes nominales normalizadas (en el apartado a, fusibles e interruptores de disparo fijo y en el apartado b, interruptores de disparo ajustable).
 - Subsección 240-10. Protección suplementaria contra sobrecorriente.
 - Subsección 240-12. Coordinación de los sistemas eléctricos.
 - Subsección 240-21. Ubicación en el circuito (en sus apartados se encuentran los diferentes modos en los que se debe conectar el dispositivo contra sobrecorriente)
 - Apartado e. Fusibles, portafusibles y adaptadores enchufables.
 - Apartado f. Fusibles y portafusibles de cartucho.
 - Apartado g. Interruptores automáticos de circuito.
-



N

CÁLCULOS DE CANALIZACIONES (TUBO, DUCTOS, CANALETAS Y ELECTRODUCTOS) Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS (CAJAS, TABLEROS, CONDULETAS, ETC.).

DEFINICIÓN



El cálculo de canalizaciones se refiere a la evaluación de los conductos eléctricos utilizados para proteger y alojar los cables y alambres en una instalación eléctrica. Estos conductos pueden ser tubos, ductos, canaletas o electroductos, y pueden estar ubicados en paredes, techos o suelos. El objetivo del cálculo es determinar el tamaño, la capacidad y la ruta óptima de los conductos para garantizar la protección de los cables y alambres eléctricos, así como la seguridad y fiabilidad de la instalación.

Por otro lado, el cálculo del volumen de encerramientos se refiere a la evaluación de las cajas, tableros y canaletas que se utilizan para alojar y proteger los componentes eléctricos en la instalación eléctrica. El cálculo se realiza en función del tamaño y cantidad de los componentes eléctricos utilizados, así como de las regulaciones específicas que se aplican a la instalación. El objetivo es garantizar que los componentes eléctricos estén protegidos y alojados de manera adecuada y segura en la instalación eléctrica.

SOFTWARE DE APOYO

- 
1. EXCEL
 2. VOLTS

EJEMPLO

Las canalizaciones y las tuberías a utilizar se escogen teniendo en cuenta el área de los conductores seleccionados y las tablas del apéndice c de la norma NTC 2050, las cuales brindan información para la selección de ductos que se requieran para cualquier proyecto; se debe tener en cuenta que el área total de los conductores no sea mayor del 40% del área de la canalización o tubería.

Ocupacion de ductos						
Cable Monopolar						
N°	Calibre	Aislante	Cantidad	Diametro* mm	Area por cable mm2	Total Grupo mm2
1	6	THHN/THWN	4	7,71	46,69	186,75
2			0			
3			0			
4			0			
5			0			
					Area Total	186,75 mm2
Tipo de Ducto: Tubo de PVC Rigido						
Diametro: 1 1/4 Pulgadas						
Diámetro mínimo recomendado 1 1/4 "				Diametro** 31,9 mm		Area Total 799,23 mm2
			Max. Ocupacion	40,00%	Ocupación	23,37%

NORMATIVA APLICABLE



RETIE artículo 20.6.

Recomendaciones:

- Sección 20.6.1 Tubos o tuberías (En la tabla 20.10 se encuentran los espesores mínimos de tubos no metálicos y metálicos).
- Sección 20.6.2 Canalizaciones superficiales metálicas y no metálicas (canaletas)
- Sección 20.6.3 Canalizaciones eléctricas prefabricadas o electroductos (En la figura 20.1 se encuentra una gráfica del factor de corrección en función de la proporción de armónicos).
- Sección 20.6.4 Otras canalizaciones.

NTC 2050 artículo 386.

Recomendaciones:

- Subsección 386.21. Calibre de los conductores.
 - Subsección 386.22. Número de conductores o cables
 - Subsección 386.30. Aseguramiento y soporte.
 - Subsección 386.56. Empalmes y derivaciones.
 - Subsección 386.70. Canalizaciones combinadas.
-

NTC 2050 artículo 388.

Recomendaciones:

- Subsección 388.21. Calibre de los conductores.
 - Subsección 388.22. Número de conductores o cables
 - Subsección 388.30. Aseguramiento y soporte.
 - Subsección 388.56. Empalmes y derivaciones.
 - Subsección 388.70. Canalizaciones combinadas.
-

NTC 2050 artículo 390.

Recomendaciones:

- Subsección 390.4. Cubiertas.
 - a) Canalizaciones de máximo 100 mm de ancho.
 - b) Canalizaciones de más de 100 mm, pero de máximo 200 mm de ancho.
 - c) Canalizaciones de tipo zanja de nivel con el concreto.
 - d) Otras canalizaciones a nivel con el concreto.
 - Subsección 390.5. Calibre de los conductores.
 - Subsección 390.6. Número máximo de conductores en una canalización
 - Subsección 386.7. Empalmes y derivaciones.
 - Subsección 386.15. Conexiones con armarios y salidas de pared.
-



CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA.

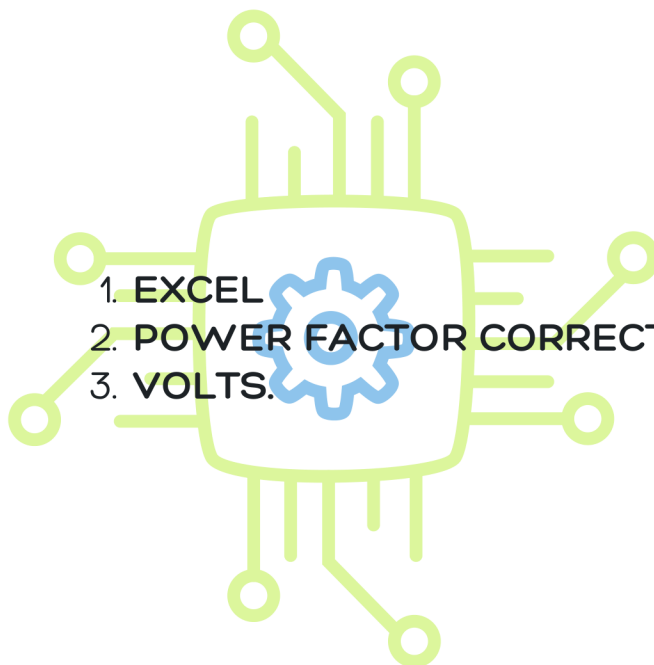
DEFINICIÓN



El cálculo de pérdidas de energía es una técnica utilizada para analizar las pérdidas de energía en un sistema eléctrico debido a diversos factores, como la resistencia del cableado y otros componentes eléctricos, la longitud de los cables, el tamaño de los conductores, la corriente que fluye a través de ellos, la temperatura ambiente y otros factores ambientales. Además, la presencia de armónicos y un bajo factor de potencia también puede contribuir a las pérdidas de energía en el sistema. El objetivo de este cálculo es minimizar las pérdidas de energía y optimizar la eficiencia energética del sistema eléctrico.

SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL
2. POWER FACTOR CORRECTION
3. VOLTS.



EJEMPLO

Para los cálculos de pérdidas de energía se plantea la siguiente formula, siguiendo los parámetros solicitados por el RETIE.

$$\%Pp = \frac{(I_L^2) \cdot R \cdot L}{S \cdot Fp} \cdot 100$$

donde:

IL-> Corriente de línea [A]

L-> Distancia del conductor en [Km]

R-> Resistencia de conductor [Ω /km]

S-> Potencia aparente [VA]

Fp-> Factor de potencia

Luego, al aplicar la ecuación a un alimentador se resumen los parámetros que se tuvieron en cuenta para el porcentaje de perdidas de energía.

Nombre del conductor	Demanda Máxima [VA]	Factor de potencia	Corriente 125% [A]	R del conductor 60°C [Ohm/km]	Distancia del poste al tablero [m]	Pérdidas de potencia [%Pp]
Alimentación TGA-PC-1	15324	0,96	53,17	1,61	35	1,0828%

NORMATIVA APLICABLE



RETIE artículo 10.7.

Norma NTC 2135.

Recomendaciones:

- Sección 3.1 Pérdidas por energía activa K1 Y K2 (En la figura 1 se encuentran las etapas para llevar la energía hasta los transformadores).
- Sección 3.2 Valor de las perdidas reactivas (RV y RC).
- Sección 3.3 Pérdidas por regulación (CER).
- Sección 3.4 Pérdidas por refrigeración forzada (CRF).

P

CÁLCULOS DE REGULACIÓN.



DEFINICIÓN

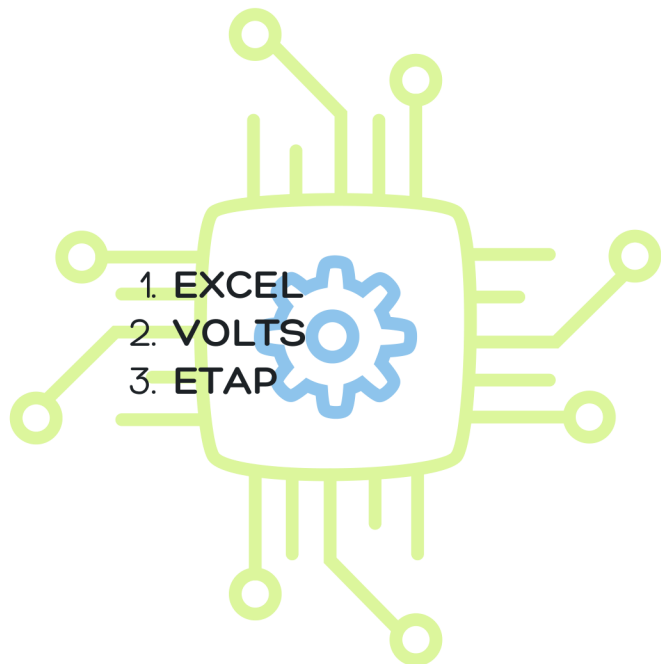


La regulación eléctrica es esencial para asegurar que el voltaje entregado a los usuarios finales sea estable y esté dentro de los límites aceptables, lo que es fundamental para proteger los equipos y dispositivos eléctricos de daños y mejorar la eficiencia energética. En el cálculo de la regulación eléctrica, se tienen en cuenta factores como la longitud y el diámetro de los conductores, la resistencia, inductancia y capacitancia de los componentes del sistema, la carga conectada al sistema y las condiciones de operación. Estos cálculos son necesarios para asegurarse de que el sistema tenga la capacidad de suministrar la energía requerida a los usuarios finales con un voltaje estable y dentro de los límites permitidos.



SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL
2. VOLTS
3. ETAP



EJEMPLO

De la NTC 2050, en la nota 4 del inciso (A) y la nota 2 del inciso b de la sección 210.19 se establece que la caída de tensión desde la salida más alejada de un circuito ramal debe ser igual o inferior al 3% y a su vez, la caída de tensión de la salida más alejada de un circuito ramal no debe ser superior al 5%.

Regulación Max.

3%

5%

Caída de tensión sistemas Trifásico (Conductor de Cobre)

Carga:	7500 VA	7.5 kVA	
Longitud del circuito:	10 m		$k = \frac{(r \times \cos \theta + x \times \sin \theta)}{10 \times kV^2}$
Tensión del sistema:	208 V		
FP:	0.95		
Calibre del Cable:	6	< >	1 Cond. por fase
Material de la tubería:	PVC		$k = 0.0036$
R:	1.6 OHM/kM		$\Delta V(\%) = (kVA \times m) \times k$
X:	0.167 OHM/kM		

Caída de tensión: $\Delta V(\%) = 0.27$

Voltaje Final: 207.42 V

NORMATIVA APLICABLE



Norma NTC 2050 artículo 210.

Recomendaciones:

- Sección 210.19 Conductores: Capacidad de corriente. (En el inciso (A) la nota 4).

Norma NTC 2050 artículo 215.

Recomendaciones:

- Sección 215.2 Valor nominal y calibres mínimos. (En el inciso (A), generalidades, inciso (b) la nota 2).

Norma NTC 2050 capítulo 9.

Recomendaciones:

- Nota 2 de la tabla 9. Resistencia y reactancia en corriente alternan para los cables para 600 V, 3 fases a 60 Hz y 75 °C – Tres conductores individuales en un tubo.

RETIE artículo 27°.

Recomendaciones:

- Subsección 27.3 Acometidas.

Q

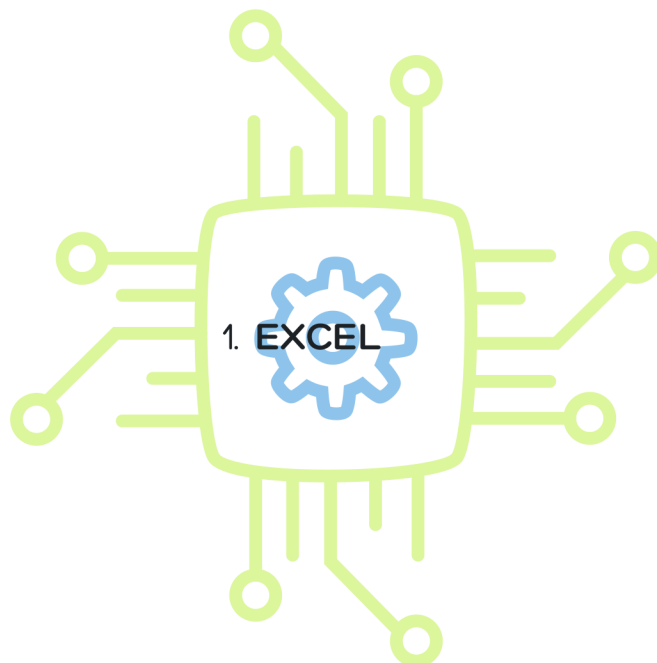
CLASIFICACIÓN DE ÁREAS.

DEFINICIÓN



Se refiere a la identificación y clasificación de las áreas de una instalación eléctrica en función del riesgo de explosión o incendio que puedan presentar. La clasificación de las áreas según el nivel de riesgo es importante para determinar los requisitos de seguridad y las medidas de protección que deben aplicarse en cada zona. Estos requisitos y medidas de protección deben ser adecuados para prevenir y reducir el riesgo de explosión o incendio en cada área de la instalación eléctrica.

SOFTWARE DE APOYO



EJEMPLO

En este proyecto de ejemplo que se ha presentado, no existen tanques de almacenamiento de combustible o algún tipo de sustancias que puedan generar ambientes explosivos, y por lo tanto no es necesario hacer un estudio de áreas clasificadas o realizar mapas de riesgo.

NORMATIVA APLICABLE



RETIE artículo 28.

Recomendaciones:

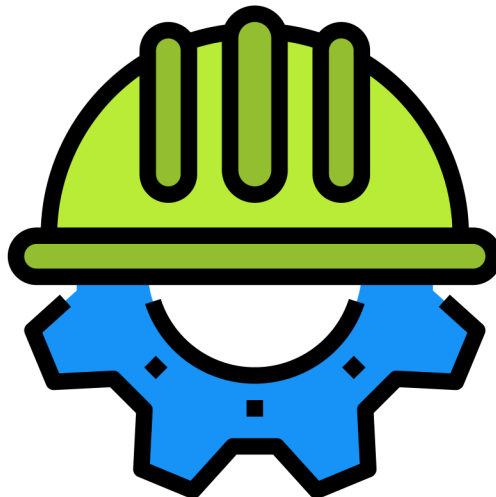
- Sección 28.1 Instalaciones básicas.
- Sección 28.2 Instalaciones provisionales.
- Sección 28.3 Instalaciones especiales.
 - a) 28.3.1 Instalaciones eléctricas en lugares clasificados como peligrosos.
 - b) 28.3.2 Instalaciones en instituciones de asistencia médica.
 - c) 28.3.3 Lugares con alta concentración de personas.
 - d) 28.3.4 Edificaciones prefabricadas.
 - e) 28.3.5 Edificios para usos agrícolas o pecuarios.
 - f) 28.3.6 Viviendas móviles, vehículos recreativos, remolques estacionados.
 - g) 28.3.7 Casas flotantes y palafíticas.
 - h) 28.3.8 Instalación de equipos especiales.
 - i) 28.3.9 Piscinas, fuentes e instalaciones similares.
 - j) 28.3.10 Sistemas integrados y sistemas solares fotovoltaicos.
 - k) 28.3.11 Sistemas contra incendio.
 - l) 28.3.12 Sistemas de emergencia.
 - m) 28.3.13 Otros sistemas de suministro.

Norma NTC 2050 capítulo 5.

Recomendaciones:

- Sección 500. Lugares peligrosos (clasificados) (en la tabla 500-5.D) se encuentran las marcas identificativas y en la tabla 500-5.f) se encuentran las temperaturas de ignición).
- Sección 501. lugares clase I.
- Sección 502. lugares clase II.
- Sección 503. lugares clase III.
- Sección 504. Sistemas de seguridad intrínseca.
- Sección 505. lugares clase 1, zonas 0, 1 y 2.
- Sección 510. lugares peligrosos (clasificados) - específicos.

- Sección 517. Instituciones de asistencia medica.
- Sección 518. Sitios de reuniones publicas.
- Sección 520. Teatros, áreas de audiencia de los estudios de cine y de televisión y lugares similares (en la tabla 520-44 se encuentra la capacidad de corrientes de cables certificados para uso extra pesado con temperaturas nominales de 75 °c y 90 °c)
- Sección 525. Carnavales, circos, ferias y espectáculos similares.
- Sección 530. Estudios de cine, televisión y lugares similares (en la tabla 530-19.a) se encuentran los factores de demanda para la iluminación de escenarios)
- Sección 545. Edificaciones prefabricadas.
- Sección 547. Edificios agrícolas.
- Sección 550. Viviendas móviles, casas prefabricadas y estacionamientos de viviendas móviles (en la tabla 550-22 se encuentran los factores de demanda de alimentadores y conductores de entrada a la acometida para viviendas móviles)
- Sección 551. Vehículos recreativos y estacionamientos de vehículos recreativos.
- Sección 552. Remolques estacionados.
- Sección 553. casas flotantes.
- Sección 555. puertos y embarcaderos.



R

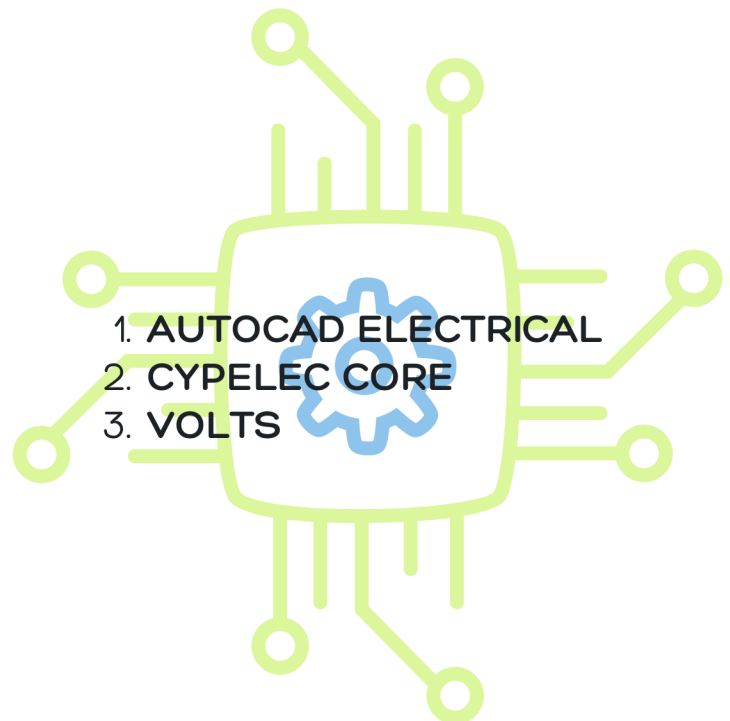
ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS UNIFILARES.

DEFINICIÓN



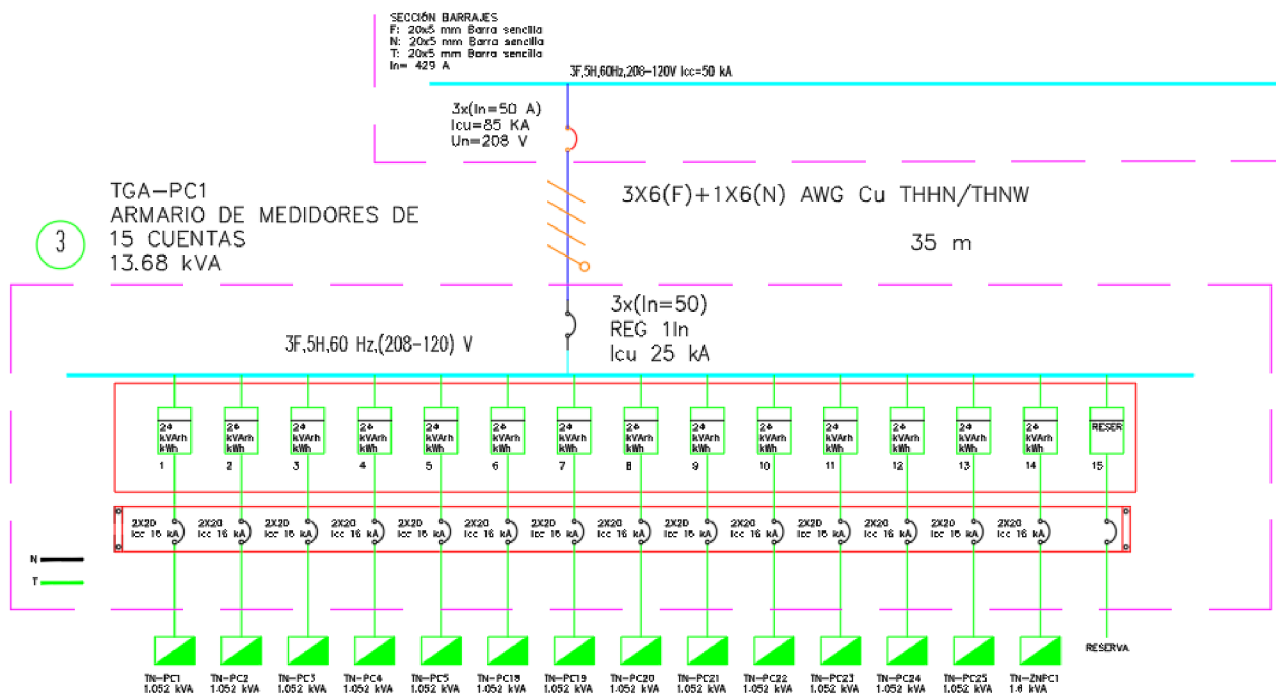
La elaboración de diagramas unifilares es una representación gráfica de una instalación eléctrica que muestra la distribución y conexión de los componentes de el mismo en un solo trazo. Este tipo de diagrama se utiliza para proporcionar información detallada sobre la configuración de la instalación eléctrica, incluyendo la ubicación y la conexión de los componentes, la disposición de los conductores, los puntos de conexión a tierra, los dispositivos de protección, entre otros elementos. Además, en el diagrama unifilar se muestra el flujo de energía eléctrica, las conexiones entre los distintos componentes y la ubicación de los dispositivos de protección. Es una herramienta esencial para el diseño y la planificación de la instalación eléctrica, y también se utiliza en la identificación de fallas o problemas en la misma. Por lo tanto, el diagrama unifilar debe cumplir con los requisitos establecidos en las normas y reglamentaciones aplicables a la instalación eléctrica en cuestión.

SOFTWARE DE APOYO





EJEMPLO



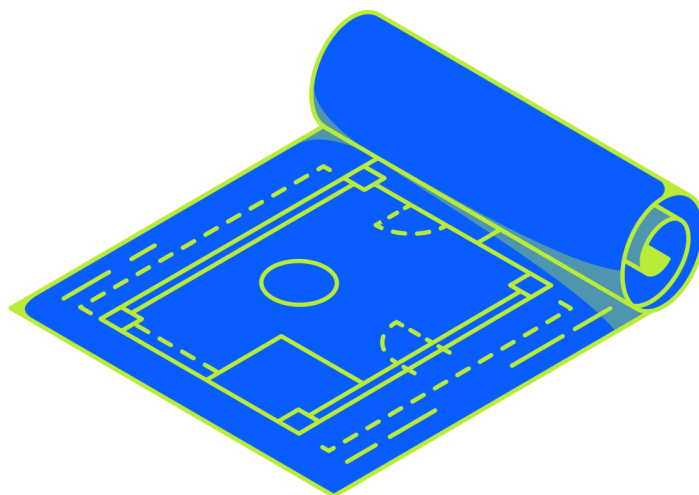
NORMATIVA APLICABLE



RETIE Artículo 6.

Recomendaciones:

- Tabla 6.1 Principales símbolos gráficos.



ELABORACIÓN DE PLANOS Y ESQUEMAS ELÉCTRICOS PARA CONSTRUCCIÓN.

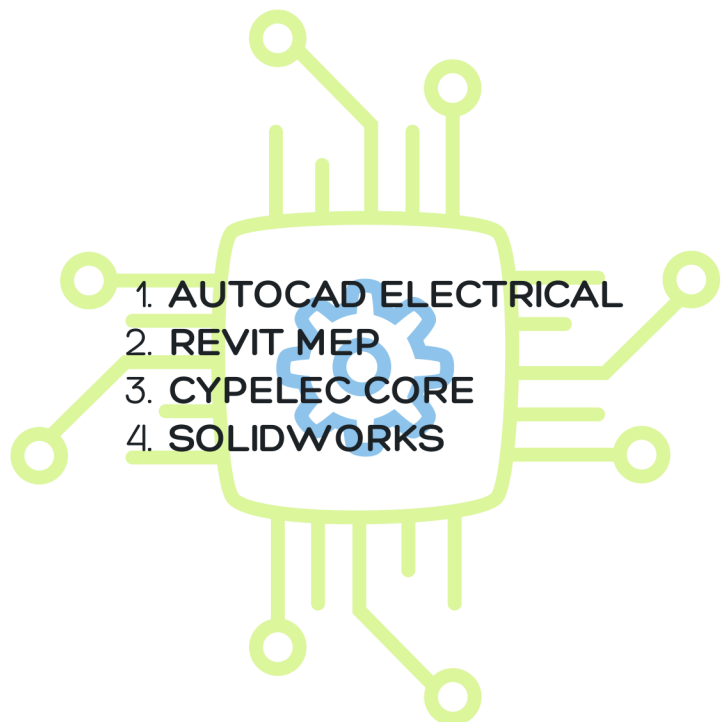
DEFINICIÓN



La elaboración de planos y esquemas eléctricos es una etapa fundamental en la construcción de una instalación eléctrica. Estos documentos gráficos representan todas las especificaciones técnicas y cálculos realizados durante la fase de diseño, lo que permite a los constructores y operarios entender claramente cómo funciona la instalación. Para lograr un trabajo preciso y de calidad, es necesario contar con conocimientos de dibujo técnico y normativas y estándares de diseño eléctrico, como el RETIE. Además, se emplean herramientas informáticas especializadas en dibujo y diseño eléctrico para simplificar y optimizar el proceso de elaboración de los planos y esquemas eléctricos.

SOFTWARE DE APOYO

1. AUTOCAD ELECTRICAL
2. REVIT MEP
3. CYPELEC CORE
4. SOLIDWORKS



EJEMPLO

En la siguiente imagen se encuentra un modelo de lo que es un plano para un proyecto de instalaciones eléctricas.



NORMATIVA APLICABLE



Norma IEC 61082.

Recomendaciones:

- IEC 61082-1 Parte 1: Reglas.
- IEC 61082-2 Parte 2: Diagramas orientados a funciones.
- IEC 61082-3 Parte 3: Diagramas de conexión, tablas y listas.
- IEC 61082-4 Parte 4: Documentos de ubicación e instalación.

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

DEFINICIÓN



Las especificaciones técnicas, también conocidas como "pliegos de condiciones", son un documento complementario a los planos y esquemas eléctricos que describen las características técnicas de los materiales, equipos y dispositivos a utilizar en la construcción de una instalación eléctrica, así como las condiciones específicas que deben cumplir. Estas especificaciones son importantes para asegurar que los materiales y equipos sean adecuados para el funcionamiento de la instalación y cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos por el RETIE y otras normativas aplicables. Además, las especificaciones técnicas también pueden incluir requisitos para el mantenimiento y operación de la instalación.

SOFTWARE DE APOYO

-
1. EXCEL
 2. WORD

EJEMPLO

En la siguiente imagen se evidencia las especificaciones complementarias para un caso específico como lo es las canalizaciones mediante ducto portacables y canaleta realizado en el software WORD.

3.7 Canalizaciones mediante ducto portacable y canaleta

DESCRIPCIÓN

Se refiere a la instalación de ductos portacables tipo y canaletas que generalmente se utilizan para sostener y enrutar los conductores tanto de fuerza como de voz y datos, hasta donde se encuentran los equipos o áreas de trabajo y corresponde a la distribución mostrada en los planos de diseño. Incluye los materiales, mano de obra y equipo de acuerdo al análisis de precios unitarios. Tanto el ducto portacables como la canaleta, deben contar con tabique separador para no mezclar los cables de voz y datos con los cables de fuerza tal como lo exige la normatividad. Estas canalizaciones deben incluir curvas a 45° y 90°, cambiadores de nivel cóncavos y convexos, derivaciones, bornes de conexión a tierra y los diferentes tipos de soporte para la ducto y canaleta.

MÉTODO DE EJECUCIÓN

El contratista suministrará e instalará todos los materiales utilizados en esta partida de acuerdo a las Especificaciones Técnicas de Procesos Constructivos. La instalación de la ducto y la canaleta se efectuará de acuerdo a los recorridos indicados en los planos. Todo el trabajo deberá ser de primera clase y de acuerdo con la mejor práctica, empleándose equipos y herramientas adecuados, de primer uso y de la mejor calidad.

UNIDAD DE MEDIDA

La Unidad de medida estará dada por unidad o tramo de 3 m instalado.

CONDICIÓN DE PAGO

El pago se hará por tramo instalado al precio unitario definido en el presupuesto, y previa aprobación del supervisor quien velará por su correcta ejecución en obra, el precio incluye el pago por materiales, mano de obra, equipos, herramientas y cualquier imprevisto necesario para la correcta instalación.

NORMATIVA APLICABLE



RETIE artículo 20.2.

RETIE Sección 20.2.9.

Resolución No. 038 de 2014 Código de medida.

Recomendaciones:

- Artículo 4. Tipos de punto de medición (En la tabla 1 se encuentra la clasificación de los puntos de medición).
- Artículo 9. Requisitos de exactitud de los elementos del sistema de medición (En la tabla 2 se encuentra los requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida).
- Artículo 12. Medidores de energía reactiva.
- Artículo 13. Medidores de respaldo.
- Anexo 1. Componentes del sistema de medición.

- Artículo 14. Otros medidores.
- Artículo 17. Protección de datos.
- Artículo 19. Ubicación de las fronteras comerciales.
- Artículo 21. Instalaciones del sistema de medición.
- Artículo 26. Verificación de los requisitos técnicos por parte del operador de red o el transmisor nacional.

RETIE Sección 20.6.1.

RETIE Artículo 20.12.

Recomendaciones:

- Sección 20.12.1 Requisitos de producto
- sección 20.12.2 Requisitos de instalación.

RETIE Artículo 20.28.



ESTABLECER LAS DISTANCIAS DE SEGURIDAD REQUERIDAS.

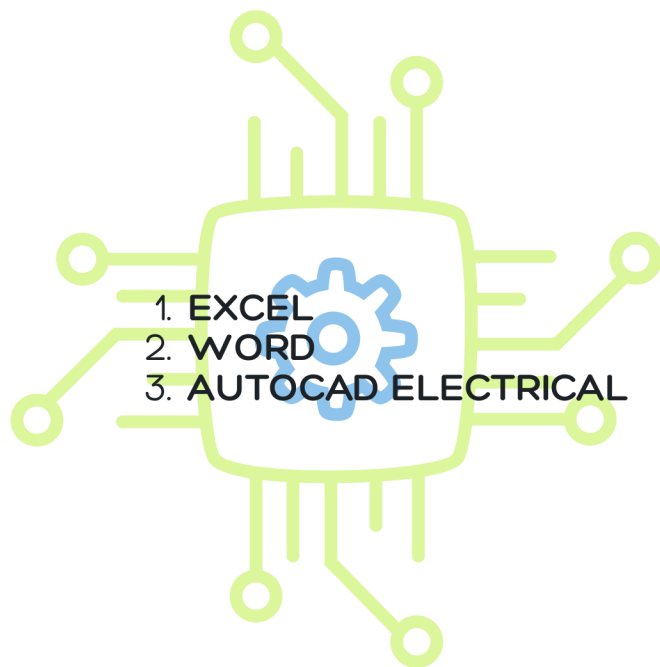
DEFINICIÓN



Establece las distancias de seguridad que deben respetarse en una instalación eléctrica para prevenir riesgos de electrocución, incendios y explosiones. Estas distancias se refieren a las distancias mínimas que deben existir entre los diferentes elementos de la instalación eléctrica, como los conductores, los equipos y las personas, y se determinan en función del nivel de voltaje y la probabilidad de contacto accidental.

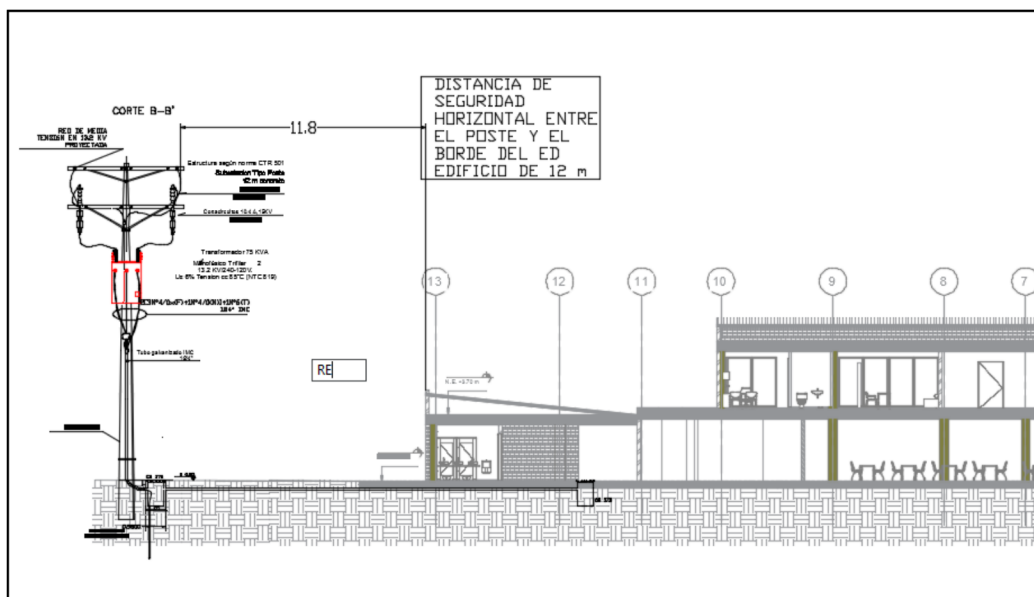
SOFTWARE DE APOYO

1. EXCEL
2. WORD
3. AUTOCAD ELECTRICAL



EJEMPLO

Las distancias mínimas de seguridad que se han tenido en cuenta se presentan entre la línea de Media Tensión a 13.200 voltios y La nueva edificación proyectada. en el plano de cortes se puede evidenciar las distancias de seguridad entre el edificio a construir y la línea de media tensión existente.



Según la tabla 13.1 del RETIE la distancia horizontal mínima de seguridad a muros de edificaciones para una tensión de 13,2 kV y teniendo en cuenta la figura 5 del RETIE, es de 2,3 metros.

NORMATIVA APLICABLE



RETIE artículo 13.

Recomendaciones:

- Sección 13.1 Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones. (En la figura 13.1. y la tabla 13.1 se encuentran las distancias de seguridad en zonas con construcciones.)
- Sección 13.2 Distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones. (En la figura 13.2., 13.3., 13.4. y la tabla 13.2. se encuentran las distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones)
- Sección 13.2 Distancias mínimas de seguridad para diferentes lugares y situaciones. (En la figura 13.2., 13.3., 13.4. y la tabla 13.2. se encuentran las distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones y en la tabla 13.3. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones.)

- Sección 13.3 Distancias mínimas entre conductores en la misma estructura. (En la tabla 13.4. se tienen la distancia horizontal entre conductores soportados en la misma estructura de apoyo y la tabla 13.5. distancia vertical mínima en metros entre conductores sobre la misma estructura.)
- Sección 13.4 Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas. (En la figura 13.4. se encuentran los límites de aproximación y en la tabla 13.6 el nivel mínimo de protección térmica según categoría de riesgo, la tabla 13.7. las distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna y en la tabla 13.8. se tienen distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente continua.)

Norma NTC 2050. Sección 110.

Recomendaciones:

- Sección 110-16. Espacio alrededor del equipo eléctrico. (En la tabla 110-16.A) ESPACIO DE TRABAJO)
- Sección 110-31 encerramientos de las instalaciones eléctricas (en la tabla 110-34.a) profundidad mínima del espacio de trabajo en una instalación eléctrica y en la tabla 110-34.e) se encuentra la altura de las partes energizadas sin proteger sobre el espacio de trabajo)



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.


DEFINICIÓN



Se refiere a la posibilidad de justificar técnicamente la desviación de la norma técnica NTC 2050, en aquellos casos en que se considere necesario, siempre y cuando se garantice la seguridad de las personas y de la instalación eléctrica. Esto significa que, en ciertas situaciones, se puede proponer una solución alternativa que no cumpla con los requisitos de la NTC 2050, pero que se ajuste a las necesidades específicas de la instalación, siempre y cuando se justifique técnicamente y se garantice que no se compromete la seguridad.

SOFTWARE DE APOYO

PARA ESTE ÍTEM SE USARÁN LOS SOFTWARE MENCIONADOS EN CADA UNO DE LOS ÍTEMS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DEL POR QUÉ LA SOLUCIÓN DADA POR EL INGENIERO SE DESVÍA DE LA NTC 2050.



EJEMPLO

Para este proyecto se tiene:

- La red de media tensión diseñada para este proyecto, será construida por el operador de red, ya que el punto de conexión dado se encuentra en el sistema que suministra energía a las redes de ecopetrol, cuyos equipos no pueden suspender su operación por motivos ajenos a ellos.
- La carga de ascensor y bomba contra incendio, así como la red de suministro de energía por emergencias dados por un grupo electrógeno, los cuales se muestran en el diagrama unifilar, serán tomados como cargas proyectadas o futuras.

NORMATIVA APLICABLE



RETIE Artículo 27.1

RETIE Artículo 32.

Recomendaciones:

- Sección 32.1 Acreditación y organismos de evaluación de la conformidad.

RETIE Artículo 34.

Recomendaciones:

- Sección 34.2 Declaración de cumplimiento.
- Sección 34.3 Inspección con fines de certificación.
- Sección 34.4 Instalaciones que requieren dictamen de inspección.
- Sección 34.8 Excepción del dictamen de inspección.
- Sección 34.9 Formatos de declaración de conformidad (En el formato 34.1 se encuentra la declaración de cumplimiento suscrita por el constructor).
- Sección 34.10 Formatos para dictamen de inspección (Del formato 34.2 al formato 34.5 se encuentran los dictámenes de inspección y verificación para cada tipo de instalación).

RETIE Artículo 35.

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

DEFINICIÓN



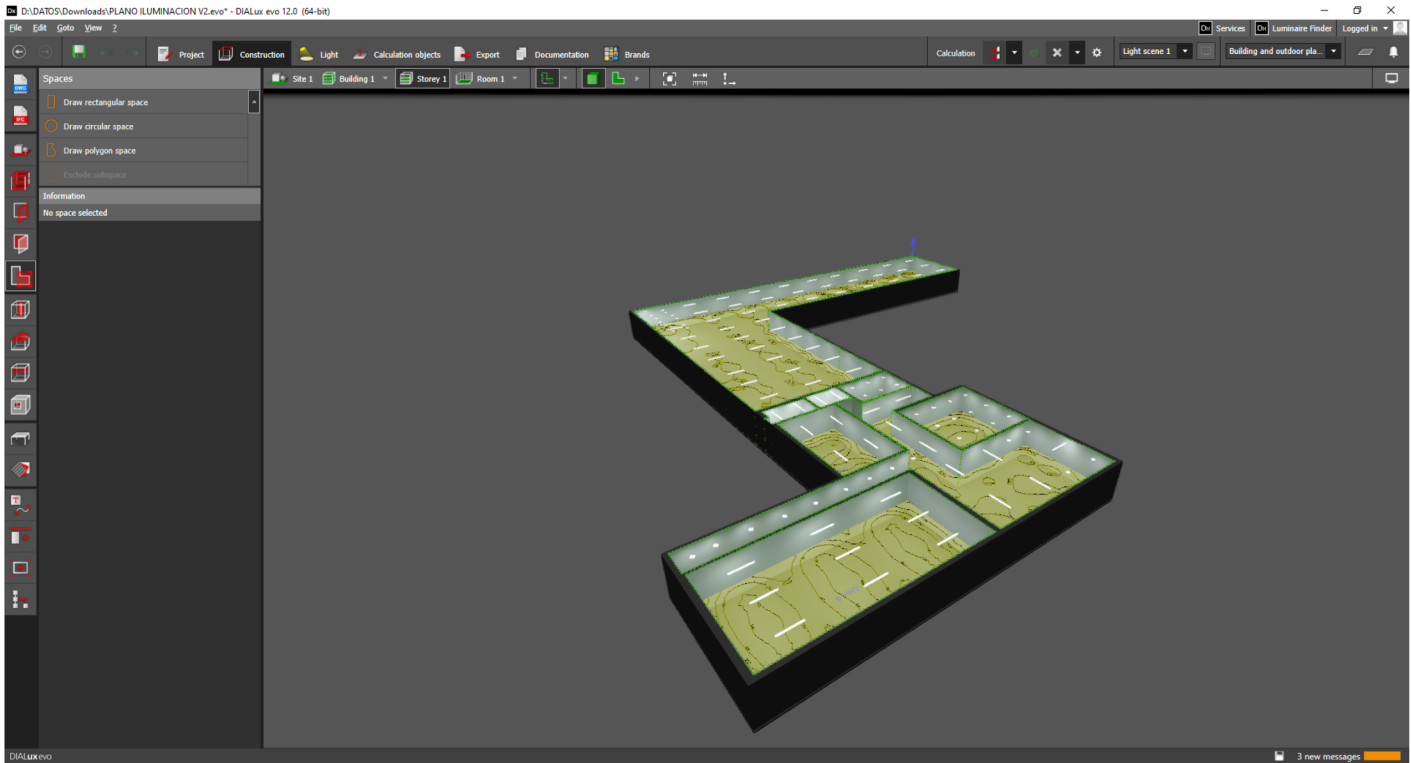
Se refiere a todos aquellos estudios adicionales que se deben realizar para asegurar el correcto y seguro funcionamiento de una instalación eléctrica. Esto puede incluir análisis de condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas, dependiendo del tipo de instalación y las condiciones específicas en las que se encuentre. El objetivo de estos estudios es identificar y mitigar cualquier riesgo potencial que pueda afectar la seguridad de las personas o la operación de la instalación.

SOFTWARE DE APOYO

1. ANSYS SOFTWARE DE SIMULACIÓN
2. COMSOL AC/DC
3. ETABS
4. RISK ASSESSMENT CALCULATOR
5. STAAD
6. DIALUX

EJEMPLO

El diseño de iluminación hace parte del desarrollo de este ítem para este proyecto, para ello se dio cumplimiento a los requisitos exigidos en el artículo 210.2 del retilap, proceso de diseño de iluminación y el numeral 210.2.3 que consta del diseño detallado. así mismo, en cuanto a la iluminación exterior se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el capítulo 5 sección 510.3, niveles exigidos de iluminancia e iluminancia en alumbrado público.



Clasificación	Clase de iluminación	Iluminancia promedio (luxes)	Uniformidad general $U_0 \geq \%$
Canchas múltiples recreativas	C0	50	40
Plazas y plazoletas	C1	30	33
Pasos peatonales subterráneos	C1	30	33
Puentes peatonales	C2	20	33
Zonas peatonales bajas y aledaños a puentes peatonales y vehiculares	C2	20	33
Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques	C3	15	33
Ciclo-rutas en parques	C2	20	40
Ciclo-rutas, senderos, paseos, alamedas y demás áreas peatonales adyacentes a rondas de ríos, quebradas, humedales, canales y demás áreas distantes de vías vehiculares iluminadas u otro tipo de áreas iluminadas	C4	10	40

TABLA 510.3 B. FOTOMETRÍA MÍNIMA EN ÁREAS CRÍTICAS DISTINTAS A VÍAS VEHICULARES. (NTC 2050)

NORMATIVA APLICABLE



Norma NFPA 101 capítulo 7.

Recomendaciones:

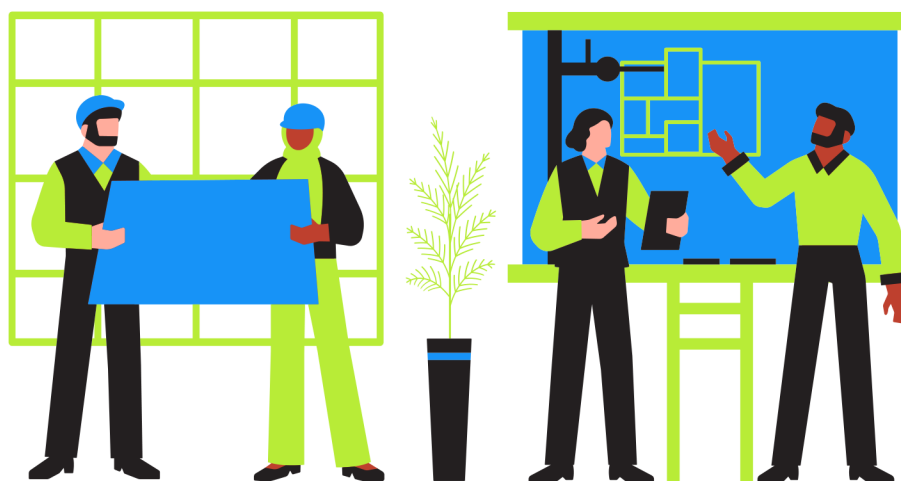
- Sección 7.8 Iluminación de los medios de egreso.
- Sección 7.9 Iluminación de emergencia.
- Sección 7.10 Señalización de los medios de egreso.
- Sección 7.11 Disposiciones especiales para ocupaciones con contenidos de alto riesgo.
- Sección 7.12 Salas de equipos mecánicos, salas de calderas y salas de hornos.

NSR-10 Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

Norma NTC-ISO 1996:2019

Norma NTC 276:2012

RETILAP-Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.



ESTA GUÍA SE HA ELABORADO ESPECÍFICAMENTE EN CUMPLIMIENTO CON EL ARTÍCULO 10.1 DEL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, ENFOCÁNDOSE DE MANERA PRINCIPAL EN EL 10.1.1 QUE ABORDA EL DISEÑO DETALLADO. ADEMÁS, PARA LOS ARTÍCULOS 10.1.2 RELACIONADO CON EL DISEÑO SIMPLIFICADO Y EL 10.1.3, QUE TRATAN LOS CASOS DE REEMPLAZO DEL DISEÑO, ESTA GUÍA PROPORCIONA LAS HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE CADA UNO DE ESTOS, LOS CUALES, PARA LOS ARTÍCULOS 10.1.2 Y 10.1.3, IMPLICAN LA ELIMINACIÓN SELECTIVA DE CIERTOS ITEMS COMPRENDIDOS ENTRE LAS LETRAS "A" Y "W" SEGÚN LO ESTIPULADO POR EL RETIE, PERMITIENDO ASÍ UNA ADAPTACIÓN EFICIENTE A LAS NECESIDADES ESPECÍFICAS DE CADA PROYECTO ELÉCTRICO.





REFERENCIAS

- ICONTEC. (30 DE 04 DE 2020). CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO. TIENDA VIRTUAL ICONTEC: [HTTPS://TIENDA.ICONTEC.ORG](https://tienda.icontec.org).
- ICONTEC. (2012). AISLAMIENTO ELÉCTRICO. EVALUACIÓN Y DESIGNACIÓN TÉRMICA. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=1974](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=1974)
- ICONTEC. (2019). ACÚSTICA. DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. PARTE 2: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=76202](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=76202)
- ICONTEC. (2019). CABLES ELÉCTRICOS. CÁLCULO DE LA CORRIENTE ADMISIBLE. SECCIONES SOBRE CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO. OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA DE LAS SECCIONES DE LOS CABLES ELÉCTRICOS DE POTENCIA. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=75896](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=75896)
- ICONTEC. (2008). PROTECCION CONTRA DESCARGAS ELECTRICAS ATMOSFERICAS (RAYOS). PARTE 3: DAÑOS FISICOS A ESTRUCTURAS Y AMENAZAS A LA VIDA. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=3666](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=3666)
- ICONTEC. (2013). ELECTROTECNIA. TENSIONES Y FRECUENCIAS NOMINALES EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DE SERVICIO PÚBLICO. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=651](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=651)
- CONTEC. (2018). ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES. GUIA PARA FORMULAS DE EVALUACION DE PERDIDAS. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=1380](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=1380)
- ICONTEC. (2018). SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=74812](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=74812)
- ICONTEC. (2019). ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, EFICIENCIA Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=75957](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=75957)
- ICONTEC. (09 DE 09 DE 2020). TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS. PLACA DE CARACTERÍSTICAS. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=79188](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=79188)
- ICONTEC. (2022). PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO. PARTE 1: PRINCIPIOS GENERALES. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=103063](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=103063)
- ICONTEC. (2023). PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO. PARTE 2: EVALUACIÓN DEL RIESGO. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=103742](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=103742)
- ICONTEC INTERNACIONAL. (2016). SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN THREE-PHASE A.C. SYSTEMS - PART 0: CALCULATION OF CURRENTS. ECOLLECTION-ICONTEC: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=61010](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=61010)
- IEC. (2014). INSULATION CO-ORDINATION - ALL PARTS. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=59578](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=59578)
- IEC. (2021). SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN THREE-PHASE AC SYSTEMS - PART 4: EXAMPLES FOR THE CALCULATION OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS. ICONTEC INTERNACIONAL: [HTTPS://ECOLLECTION-ICONTEC-ORG.BIBLIOTECAVIRTUALUIS.EDU.CO/NORMAVW.ASPX?ID=100974](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?id=100974)
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2010). REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO - RETILAP. REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO: [HTTPS://WWW.MINENERGIA.GOV.CO/ES/MISIONAL/ENERGIA-ELECTRICA-2/REGLAMENTOS-TECNICOS/REGLAMENTO-T%C3%A9CNICO-DE-ILUMINACI%C3%B3N-Y-ALUMBRADO-P%C3%BAblico-RETIAP/](https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-iluminaci%C3%B3n-y-alumbrado-p%C3%BAblico-retilap/)
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2013). REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE). REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS - RETIE: CHROME-EXTENSION://EFAIDNBMNNIBPCAJPCLCLEFINDMKAJ/HTTPS://WWW.MINENERGIA.GOV.CO/DOCUMENTS/3809/A NEXO_GENERAL_DEL_RETIE_VIGENTE_ACTUALIZADO_A_2015-1.PDF
- OPERATION TECHNOLOGY. (2023). CAPACIDADES DE SOFTWARE PARA SISTEMAS DE MALLA DE TIERRAS [GIF]. SOFTWARE PARA SISTEMAS DE MALLA DE TIERRAS - ETAP: [HTTPS://ETAP.COM/ES/PRODUCT/GROUND-GRID-SYSTEMS-SOFTWARE](https://etap.com/es/product/ground-grid-systems-software)
- FRANCESC FORNIELES. (5 DE 02 DE 2019). ARMÓNICOS ELÉCTRICOS: CÓMO CREAR UN LABORATORIO [PASO A PASO] [ARCHIVE DE VIDEO], RETRIEVED 25 DE 06 DE 2023, FROM [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=BJRV3Z72_NM&ab_channel=FRANCESCORNIELES](https://www.youtube.com/watch?v=BJRV3Z72_NM&ab_channel=FRANCESCORNIELES)