

**MEMORIAS DE CÁLCULO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA LA  
CALDERA RENTECH APLICANDO LA NORMA RETIE EN LA EMPRESA  
PAPELES Y CARTONES S.A. (PAPELSA)**

**LEIDY NATALIA POSADA RODRIGUEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2013**

**MEMORIAS DE CÁLCULO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA LA  
CALDERA RENTECH APLICANDO LA NORMA RETIE EN LA EMPRESA  
PAPELES Y CARTONES S.A. (PAPELSA)**

**LEIDY NATALIA POSADA RODRIGUEZ**

**Trabajo de grado para optar por el título  
de Tecnólogo Eléctrico**

**ASESOR INTERNO  
RODRIGO RUEDA GARCÍA  
Título: Ingeniero Electromecánico**

**ASESOR EXTERNO  
CESAR AUGUSTO AGUDELO  
Título: Ingeniero Electricista**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2013**

**MEMORIAS DE CÁLCULO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA LA  
CALDERA RENTECH APLICANDO LA NORMA RETIE EN LA EMPRESA  
PAPELES Y CARTONES S.A. (PAPELSA)**

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Asesor Interno**

---

**Firma del Asesor Externo**

**Ciudad:**

**Fecha: Día \_\_\_\_ Mes \_\_\_\_ Año \_\_\_\_**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A cada uno de los directivos y colaboradores de Papeles y Cartones S.A (PAPELSA), INGETESA S.A e Instituto Universitario Pascual Bravo, por su disposición para aportar sus conocimientos y hacer posible la realización del presente trabajo.**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
2. JUSTIFICACIÓN .....	12
3. OBJETIVOS .....	14
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
4. MARCO TEORICO.....	15
4.1. REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE) .	15
4.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050.....	16
4.3 RESOLUCIÓN 180540 (RETILAP) .....	17
5. METODOLOGÍA.....	19
6. RESULTADOS .....	20
6.1. ANÁLISIS DE CARGA.....	20
6.2. CÁLCULOS DE TRANSFORMADORES .....	23
6.3. DISTANCIAS DE SEGURIDAD.....	24
6.4. CÁLCULOS DE REGULACIÓN .....	30
6.5. CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA .....	34
6.6. ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA.....	35
6.7. CÁLCULOS Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES .....	40
6.8. CÁLCULO DE DUCTOS .....	45
6.9. CÁLCULOS DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	45
6.10. ANÁLISIS DE PROTECCIÓN COTRA RAYOS .....	46

6.11. CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN .....	46
7. CONCLUSIONES.....	47
8. RECOMENDACIONES .....	49
9. BIBLIOGRAFÍA .....	50
10. CIBERGRAFÍA .....	52
11. ANEXOS. ....	53
11.1 PLANO DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL CALDERA RENTECH:.....	53
11.2. PLANO DISTANCIAS DE SEGURIDAD- CUARTO ELÉCTRICO CALDERA RENTECH. ....	54
11.3. PLANO TUBERÍAS, MOTORES Y BANDEJAS. ....	55
11.4. CÁLCULOS DE SISTEMA DE PUESTA TIERRA .....	56
11.5. ANÁLISIS DE PROTECCIÓN COTRA RAYOS .....	57
11.6. CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN .....	58

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Intensidad a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna	21
Figura 2. Calculo alimentador	22
Figura 3.Datos Transformador	23
Figura 4. Distancias de trabajo	25
Figura 5.Límites de aproximación	28
Figura 6. Límites de aproximación a partes energizadas de equipos	29
Figura 7. Profundidad del espacio de trabajo	29
Figura 8.Limites de aproximacion tablero	29
Figura 9. Selección de conductores	32
Figura 10. Cálculo caída de tensión	33
Figura 11. Perdida motores	34
Figura 12. Ecuaciones cortocircuito	35
Figura 13. Análisis cortocircuito	36
Figura 14. Cortocircuito de los conductores	38
Figura 15.Grafica capacidad de corriente interruptores	40
Figura 16.Curva de disparo 1	41
Figura 17. Curva de disparo 2	43
Figura 18. Ajuste protección térmica	44
Figura 19.Llenado de tuberías	45

## INTRODUCCIÓN

La norma RETIE (Resolución 181294 del 6 de agosto del 2008), es el reglamento técnico de instalaciones eléctricas, que fija condiciones técnicas que garanticen la seguridad industrial y ocupacional, del medio ambiente y de los procesos como tal de generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica en todo el territorio nacional, a partir del cumplimiento de los requisitos civiles mecánicos y de fabricación de equipos. Esta norma es de obligatorio cumplimiento y es regulado por la norma NTC 2050 “Código Eléctrico Colombiano”.

Este reglamento aplica para todas las instalaciones de corriente alterna y continua, mayor o igual a 48V de c.c, públicas o privadas, como también aplica para todos los profesionales que ejercen la electrotecnia y para los productores o importadores de materiales eléctricos ya sean de origen nacional o extranjero.

Para garantizar el cumplimiento de este reglamento, la norma establece la adopción de la certificación de conformidad de los productos de inspección y certificación de conformidad de las instalaciones.

El presente proyecto define los cálculos del montaje de las instalaciones eléctricas de la caldera Rentech en la empresa Papeles y Cartones S.A (PAPELSA). Para cumplir dicho objetivo se alinearán los conceptos requeridos con la norma RETIE:

- Fijar condiciones para evitar accidentes por contactos eléctricos directos o indirectos.



- Establecer condiciones para evitar incendios como consecuencia de la electricidad.
- Fijar condiciones para evitar la quema de árboles por acercamiento a líneas de energía.
- Establecer condiciones para evitar de muerte de animales causada por cercas eléctricas.
- Establecer condiciones para evitar los daños causados por sobre corrientes y sobre tensiones.
- Adoptar la simbología verbal y gráfica a utilizar en el ámbito de la electrotecnia.
- Minimizar deficiencias en las instalaciones eléctricas.
- Establecer claramente los requisitos y responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, operadores, propietarios y usuarios de instalaciones eléctricas, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos eléctricos.
- Unificar las características esenciales de seguridad de productos eléctricos de mayor utilización, para asegurar más confiabilidad en su funcionamiento.
- Prevenir los actos que puedan inducir al error a los usuarios, tales como la utilización o difusión de indicaciones incorrectas, falsas o la omisión de datos verdaderos que no cumplen con las exigencias del RETIE.
- Exigir compatibilidad y confiabilidad de los productos y equipos eléctricos mencionados expresamente.

Es así que el presente trabajo se realiza de acuerdo con los requerimientos del artículo 8.1 del RETIE, el cual describe los aspectos que aplican según el tipo de instalación eléctrica de uso final. Los siguientes son los cálculos que se utilizarán para la instalación eléctrica de la caldera Rentech:

- Análisis de carga
- Cálculo de transformadores.

- Distancias de seguridad.
- Cálculos de regulación.
- Cálculos de pérdidas de energía.
- Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- Cálculo y coordinación de protecciones.
- Cálculos de ductos, (tuberías, canalizaciones, canaletas, blindo barras).
- Cálculo del sistema de puestas a tierra.
- Análisis de protección contra rayos.
- Cálculo de iluminación.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El montaje de instalaciones eléctricas para cualquier tipo de equipos conlleva a diferentes riesgos tipo ocupacional, ambiental y de bienes. Es por esto que es necesario y fundamental para el sector eléctrico hacer cálculos de instalaciones eléctricas de acuerdo a RETIE debido a los riesgos que se pueden presentar.

Con base en lo anterior, el montaje de las instalaciones eléctricas de la caldera Rentech puede conllevar los siguientes riesgos:

- En cuanto a riesgos de tipo ocupacional se encuentran la salud y vida de las personas a causa de un accidente, resultado del paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano, la electricidad puede llegar a matar, en este caso es denominado electrocución o electrización.
- Para el ambiente se encuentran riesgos de incendios como consecuencia de la electricidad, quema de árboles por acercamiento a líneas de energía, muerte de animales a causa de cercas eléctricas, entre otros.
- Los equipos se encuentran en riesgos ya que se pueden dañar y esto trae como consecuencia: pérdidas en producción, pérdida de materiales, disminución en la calidad del producto, demoras o retrasos en la producción, entre otros.

En conclusión, las normas RETIE son necesarias para evitar los riesgos expuestos anteriormente, por lo que los cálculos reglamentados en dicha norma se hacen necesarios para el montaje.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La empresa PAPELSA es una empresa de gran recorrido en el mercado nacional dedicada a la producción, comercialización y distribución de papel, láminas y cajas de cartón corrugado. Su filosofía es tener un enfoque claro al servicio de los clientes tanto internos como externos, buscando constantemente la manera de aumentar la satisfacción alineados con la cultura de mejoramiento.

Es por esto, que el mejoramiento de la eficiencia en las empresas es una preocupación permanente y como consecuencia cualquier causa que la afecte en su desarrollo debe ser erradicada. Con el fin de mejorar la producción de papel, la empresa ve la necesidad de implementar en Planta Molino, una nueva caldera más eficiente con una capacidad de generación de 50000 libras vapor/hora y teniendo la posibilidad en un futuro la opción de montar un turbo generador a vapor de 7.5 MVA con la posibilidad de suministrar energía suficiente para toda la empresa.

Para este proyecto, uno de los aspectos a tener en cuenta para lograr su eficiencia, es el buen funcionamiento de las instalaciones eléctricas, ya que la calidad eléctrica es un indicador del nivel de adecuación de la instalación para soportar y garantizar un buen funcionamiento de sus cargas.

Es así que la empresa aparte de estar comprometida con la calidad y productividad, también lo está con la seguridad ocupacional y ambiental. Por lo tanto, el proyecto del montaje de la Caldera Rentechestá enfocado al cumplimiento del mencionado compromiso, pues este equipo por su principio de funcionamiento, reduce notablemente la emanación de partículas contaminantes a la atmosfera evitando así daños al ambiente y por supuesto a las personas.

Para lograr lo anteriormente expuesto, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) será una herramienta fundamental ya que establece los requisitos que unos actores deben solicitar y otros deben aplicar, brindando transparencia y calidad en la ejecución de los trabajos, todo enfocado al beneficio de los clientes y usuarios en todos los niveles.

Por esta razón, el presente trabajo se fundamenta bajo el contexto de RETIE permitiendo el reconocimiento, evaluación y control de los riesgos que pueden causar accidentes, enfermedades y/o muerte.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Aplicar el Reglamento RETIE, RETILAP (Resolución 180540) y NTC 2050 en el proyecto de montaje de las instalaciones eléctricas de la CALDERA RENTECH de la empresa Papeles y Cartones SA (PAPELSA), con el fin de disminuir riesgos ocupacionales, ambientales y de bienes.

### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar la inversión en materiales y equipos haciendo un estudio técnico económico de la inversión inicial del proyecto, pagos por consumo de energía eléctrica, gastos de operación y mantenimiento, así como la amortización de equipos.
  
- Realizar los cálculos eléctricos cumpliendo con el reglamento con el fin de suministrar adecuadamente la energía eléctrica que se está consumiendo dentro de la instalación.
  
- Seleccionar los materiales adecuados con respecto a los cálculos realizados con el fin de brindar una instalación eléctrica segura y confiable.

## **4. MARCO TEORICO**

Las memorias de cálculo de las instalaciones eléctricas, se realizaron con base en las normas RETIE, NTC 2050 Y RETILAP. A continuación se describen de manera general:

### **4.1. REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)**

Aplica para cualquier sistema eléctrico con tensiones por encima de 50 V AC y DC, exceptuando las instalaciones para vehículos de transporte (autos, aviones, barcos, etc.), equipos de electro medicina y equipos y antenas de radio comunicación. El RETIE reglamenta las normas técnicas y le da el carácter de obligatoriedad a las disposiciones existentes (norma NTC 2050) y establece otros criterios de obligatorio cumplimiento en adelante, tanto para nuevas instalaciones como para las existentes. Así mismo, establece un procedimiento para certificar las instalaciones con los requisitos y prescripciones del Reglamento Técnico, de carácter obligatorio, que tiene una validez de dos años para las instalaciones hospitalarias y diez años para las demás, enmarcando dentro del RETIE las instalaciones industriales, comerciales, oficiales y multifamiliares. También establece un régimen sancionatorio para aquellas instalaciones y profesionales que no cumplan con lo allí establecido. El RETIE está orientado hacia los aspectos de seguridad e integridad física de las personas, seres vivos y el medio ambiente, literalmente: “El objeto fundamental de este Reglamento es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y de la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.”

El RETIE es un instrumento técnico-legal de OBLIGATORIO cumplimiento que pretende garantizar que las instalaciones, equipos y productos empleados en el proceso de generación, transmisión y utilización de la energía eléctrica cumplan con los objetivos legítimos:

- Protección de la salud y la vida humana.
- Protección de la vida animal y vegetal.
- Preservación del medio ambiente.
- Prevención de prácticas que puedan inducir en error al usuario.

Como se ha mencionado, las prescripciones del RETIE, a diferencia de los aspectos normativos que se establecen por consenso entre fabricantes y usuarios para determinar las mejores prácticas y procedimientos para cierta actividad y que son recomendaciones que no tienen implicaciones legales al obviarlas, estas tienen carácter legal y tienen que cumplirse de manera obligatoria, so pena de ser sometido a sanciones que el mismo Reglamento establece. El proceso de CERTIFICACION PARA LA INSTALACION se adopta como obligatorio y con una periodicidad preestablecida, es decir, en adelante las modificaciones, ampliaciones, reformas y demás actividades que se adelanten en las instalaciones deben garantizar el cumplimiento de lo estipulado en el RETIE.

Las infracciones a los requisitos y prescripciones establecidos en el RETIE, se sancionarán de acuerdo con lo establecido por la legislación colombiana, especialmente por lo establecido en las leyes 143 de 1994, 51 de 1986 y 19 de 1990.

#### **4.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050**

La Norma Técnica NTC 2050 o Código Eléctrico Colombiano, ha sido de obligatorio cumplimiento durante cerca de 20 años y son varios las normas legales, reglamentarias que dan a entender esa obligatoriedad, el RETIE hace



expresa la obligatoriedad de cumplir la NTC 2050 Primera Actualización, en sus siete primeros capítulos.

Cualquier análisis que pretenda realizarse en el campo científico y tecnológico, debe obligatoriamente enmarcarse en los parámetros de la globalización establecidos a nivel mundial. Por esta razón, el trabajo que se presenta bajo el contexto de **Código Eléctrico Colombiano** no puede ser ajeno a esta premisa. Vale la pena resaltar el invaluable valor agregado que representa para el país el **Código Eléctrico Colombiano**, dado que es la materialización de las necesidades nacionales en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, basadas en parámetros aplicados y validados.

Mundialmente, los cuales garantizan al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas. Por otro lado, propenden por la racionalización de la energía, obedeciendo a la necesidad imperiosa de preservar sus fuentes, como uno de los objetivos medioambientales que se deben lograr para evitar su agotamiento.

Sin lugar a dudas el **Código Eléctrico Colombiano** será una herramienta fundamental para el sector eléctrico nacional en general y para los profesionales que se desempeñan en esta área, ya que establece los requisitos que unos deben solicitar y otros deben aplicar, brindando transparencia en los procesos de contratación y calidad en la ejecución de los trabajos, todo enfocado al beneficio de los clientes y usuarios en todos los niveles.

#### **4.3 RESOLUCIÓN 180540 (RETILAP)**

El RETILAP tiene como objetivo establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público para garantizar los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la

seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente.

Este reglamento nace a partir de la ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones entre las cuales está el URE (Uso Racional y Eficiente de Energía) como un asunto de interés público y nacional fundamental para asegurar el abastecimiento energético, la competitividad de la economía colombiana y la protección al consumidor.

## 5. METODOLOGÍA

El tipo de investigación del presente trabajo es cuantitativa, ya que se requiere que entre los elementos del problema de investigación exista una relación cuya naturaleza sea representable por algún modelo numérico ya sea lineal, exponencial o similar. Es decir, que haya claridad entre los elementos de investigación que conforman el problema, que sea posible definirlo, limitarlos y saber exactamente dónde se inicia el problema, en qué dirección va y qué tipo de incidencia existe entre sus elementos.

En la investigación cuantitativa, la relación entre teoría e hipótesis es muy estrecha pues la segunda deriva de la primera. A partir de un marco teórico se formula una hipótesis, mediante un razonamiento deductivo, que posteriormente se intenta validar empíricamente., se busca demostrar y/o validar hipótesis.

Las ciencias matemáticas, físicas, naturales, tienen que ser fundamentalmente cuantitativas, dado que tratan de contar similitudes en los casos.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS DE CARGA

De acuerdo con el artículo 430-24 del Código Eléctrico Colombiano, “varios motores o un motor(es) y otra(s) carga(s)”, la selección del alimentador del CCM del proyecto se realiza de la siguiente manera:

Sumatoria del 100% de la capacidad de corriente de los motores que pueden operar en forma simultánea más Sumatoria del 100% de la capacidad de corriente de las cargas diferentes a motores más 25% de la capacidad de corriente del motor mayor.

Ver Artículo 430-24 NTC 2050: *“Los conductores de suministro de varios motores o un motor(es) y otra(s) carga(s) deben tener una capacidad de corriente como mínimo igual a la suma de las corrientes a plena carga de todos los motores, más el 25 % de la capacidad de corriente del mayor motor del grupo, más la capacidad de corriente de todas las demás cargas, de acuerdo con lo establecido en la Sección 220 y otras disposiciones aplicables de este Código.*

Excepciones:

- 1) *Cuando uno o más de los motores del grupo se utilicen para servicio por corto tiempo, intermitente, periódico o variable, la corriente nominal de dichos motores utilizada en el cálculo se debe establecer de acuerdo con el Artículo 430-22.a) Excepción n°. 1. Para el motor de mayor corriente nominal, en la suma se debe utilizar el mayor de los dos valores siguientes: la corriente nominal en A establecida según el Artículo 430-22.a) Excepción n°. 1 o la mayor corriente a plena carga en servicio continuo del motor multiplicada por 1,25.*
- 2) *La capacidad de corriente de los conductores de suministro de equipos eléctricos fijos de calefacción de ambiente con motor, debe cumplir lo establecido en el Artículo 424-3.b).*

3) Cuando los circuitos estén enclavados de modo que impidan el funcionamiento simultáneo de determinados motores y otras cargas, se permite que la capacidad de corriente de los conductores se base en la suma de las corrientes de todos los motores y las otras cargas que puedan funcionar simultáneamente y que resulten en la mayor corriente total.”

La capacidad de corriente de los motores se selecciona con la capacidad de corriente extractada de la tabla 430-150.

Figura 1. Intensidad a plena carga de motores trifasicos de corriente alterna

**Cuadro 430-150**  
**Intensidad a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna**

Los siguientes valores de intensidad a plena carga corresponden a motores que funcionan a las velocidades normales de motores con correas y a motores con par normal. Los motores construidos especialmente para baja velocidad (1.200 rpm o menos) o alto par, pueden necesitar intensidades de funcionamiento mayores. Los motores de varias velocidades tendrán intensidades que variarán con la velocidad, en cuyo caso se deberán utilizar las intensidades nominales que indique su placa de características.

Las tensiones son las nominales de los motores. Las intensidades son las permitidas para instalaciones a 110-120 voltios, 220-240 voltios, 440-480 voltios y 550-600 voltios.

HP	Motores de inducción de jaula de ardilla y rotor bobinado, amperios							Factor de potencia unitario* para motores de tipo síncrono, amperios			
	115 voltios	200 voltios	208 voltios	230 voltios	460 voltios	575 voltios	2300 voltios	230 voltios	460 voltios	575 voltios	2300 voltios
1/2	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9					
3/4	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3					
1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7					
1 1/2	12,0	6,9	6,6	6,0	3,0	2,4					
2	13,6	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7					
3		11,0	10,6	9,6	4,8	3,9					
5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1					
7 1/2		25,3	24,2	22	11	9					
10		32,2	30,8	28	14	11					
15		48,3	56,2	42	21	17					
20		62,1	59,4	54	27	22		53	26	21	
25		78,2	74,8	68	34	27					
30		92	88	80	40	32		63	32	26	
40		120	114	104	52	41		83	41	33	
50		150	143	130	65	52		104	52	42	
60		177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75		221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100		285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125		359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150		414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200		552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250					302	242	60				
300					361	289	72				
350					414	336	83				
400					477	382	95				
450					515	412	103				
500					590	472	118				

\* Para factores de potencia del 90 y el 80 por 100, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1,1 y 1,25.

Fuente: NTC 2050, 1998

Figura 2. Calculo alimentador

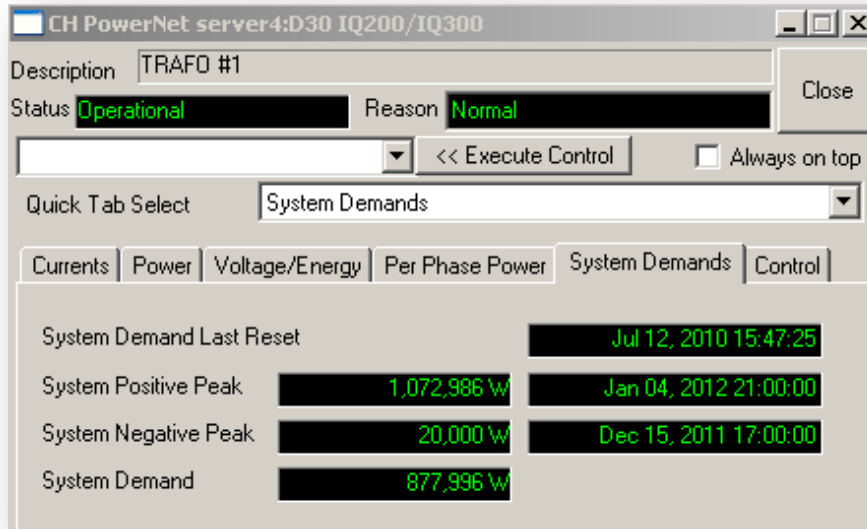
Cálculo alimentador								
Ítem	Nombre	Sistema	Potencia (HP)	F.P.	Corriente de Tabla 430-150	Corriente de Tabla 430-150 FP 0,9 multiplicar x 1,1 FP 0,8 multiplicar x 1,25	Factor multiplicador para el alimentador	Corriente final (A)
1	Ventilador de aire fresco	3F	150	0,9	180	198	1,25	247,50
2	Blower 1	3F	7,5	0,8	11	13,75	1,00	13,75
3	Blower 2	3F	7,5	0,8	11	13,75	1,00	13,75
4	Bomba Alimentación Agua B04	3F	60	0,9	77	84,7	1,00	84,70
5	Bomba Alimentación Agua B03	3F	60	0,9	77	84,7	1,00	84,70
6	Ventilador sello aire fresco	3F	7,5	0,8	11	13,75	1,00	13,75
7	Ventilador sello guillotina	3F	7,5	0,8	11	13,75	1,00	13,75
8	Transformador control	1F	0	0	0	0	1,00	0,00
9	Reserva 25 %	3F	75	0,9	96	105,6	1,00	105,60
<b>Capacidad de corriente mínima del alimentador (A)</b>								<b>577,50</b>

Fuente: Papelsa 2012

La capacidad de corriente del alimentador es de 577.50 (A) El alimentador del proyecto se conectara al transformador # 3 de 2000 kVA, suficiente para soportar la nueva carga de 460 kVA.

El alimentador del proyecto se conectara al transformador # 3 de 2000 kVA el cual tiene los siguientes picos de demanda máxima.

Figura 3. Datos Transformador



Fuente:CH Powernet

Nota: La descripción del transformador no se ha actualizado en el CH Powernet el código correcto es Trafo # 3.

Como se observa en la anterior tabla el pico de demanda es de 1073 kW. Con un factor de potencia de 0,9 la potencia aparente demandada al transformador tendría un pico de 1192 kVA, con lo cual la potencia disponible es del orden de 807 KVA, suficiente para soportar la nueva carga de 460 kVA.

## 6.2. CÁLCULOS DE TRANSFORMADORES

No se realizó selección de transformador para el proyecto, la carga se conecta al secundario del transformador # 3, el cual cuenta con capacidad disponible de acuerdo con lo presentado en el numeral 1 del presente proyecto.

### 6.3. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Dado que solamente se construirán instalaciones de baja tensión en el proyecto no aplican los requerimientos del RETIE consignados en los artículos 13.1, 13.2, 13.3 (redes de distribución y transmisión), artículo 24 (zonas de servidumbre de líneas de transmisión) y artículo 29.4 (Subestaciones exteriores), Análogamente, no aplican los artículos 110-32, 110-33 y 110-34 de la norma NTC 2050.

Los artículos aplicables para la definición de las distancias de seguridad y espacios de trabajo en el proyecto son 110-16 de la norma NTC 2050 y 13.4 del RETIE:

***Artículo 110-16 de la norma NTC 2050: Espacio alrededor de los equipos eléctricos (para 600 V nominales o menos).***

*Alrededor de todos los equipos eléctricos debe existir y se debe mantener un espacio de acceso y de trabajo suficiente que permita el funcionamiento y el mantenimiento fácil y seguro de dichos equipos.*

*a) Espacio de trabajo. Excepto si se exige o se permite otra cosa en este código, la medida del espacio de trabajo para equipos que funcionen a 600 V nominales o menos a tierra y que pueden requerir examen, ajuste, servicio o mantenimiento mientras están energizados, debe cumplir con:*

*1) Profundidad del espacio de trabajo: la profundidad del espacio de trabajo en la dirección del acceso hacia las partes energizadas no debe ser inferior a la indicada en la Tabla 110-16.a). Las distancias se deben medir desde las partes energizadas, si están expuestas, o desde el frente del encerramiento o abertura, si están encerrados.*



Figura 4. Distancias de trabajo

**Cuadro 110-16(a). Distancias de trabajo**

Tensión nominal a tierra	Condiciones		
	Distancia libre mínima (pies)		
	1	2	3
	(pies)	(pies)	(pies)
0-150	3	3	3
151-600	3	3 1/2	4

Unidades SI: 1 pie = 0,3048 m.

Fuente: Tabla 110-16(a) NTC 205

Las "Condiciones" son las siguientes:

1. Partes energizadas expuestas en un lado y ninguna parte energizada o puesta a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes energizadas expuestas a ambos lados protegidas eficazmente por madera u otros materiales aislantes adecuados. No se considerarán partes energizadas los cables o barras aislados que funcionen a menos de 300 V.
2. Partes energizadas expuestas a un lado y puestas a tierra en el otro. Las paredes de hormigón, ladrillo o baldosa se deben considerar como puestas a tierra.
3. Partes energizadas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo (no protegidas) como está previsto en la Condición 1, con el operador entre ambas.

Excepciones:

- 1) No se requiere espacio de trabajo en la parte posterior o lateral de conjuntos como cuadros de distribución de frente muerto o centros de control de motores en los que no haya partes intercambiables o ajustables como fusibles o conmutadores en su parte posterior o lateral y donde todas las conexiones sean accesibles desde lugares que no sean la parte posterior o lateral. Cuando se requiera acceso posterior para trabajar en partes no energizadas de la parte posterior del equipo encerrado, debe existir un espacio mínimo de trabajo de 0,75 m medidos horizontalmente.

2) Con permiso especial de la autoridad con jurisdicción para hacer cumplir este código, se permiten espacios más pequeños si todas las partes no aisladas están a una tensión inferior a 30 V RMS, 42 V de pico o 60 V c.c.

3) En los edificios existentes en los que se vaya a cambiar el equipo eléctrico, se debe dejar un espacio de trabajo como el de la Condición 2 entre cuadros de distribución de frente muerto, paneles de distribución o centros de control de motores situados a lo largo del pasillo y entre uno y otro, siempre que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que se han dado instrucciones por escrito para prohibir que se abran al mismo tiempo los equipos a ambos lados del pasillo y que la instalación sea revisada por personal calificado debidamente autorizado.

2) Ancho del espacio de trabajo: el ancho del espacio de trabajo en el frente del equipo eléctrico, debe ser el ancho del equipo o 0,75 m, el que sea mayor. En todos los casos, el espacio de trabajo debe permitir abrir por lo menos a 90° las puertas o paneles abisagrados del equipo.

3) Altura del espacio de trabajo: el espacio de trabajo debe estar libre y extenderse desde el nivel del suelo o plataforma hasta la altura exigida por el artículo 110-16.e). Dentro de los requisitos de altura de este artículo, se debe permitir que otros equipos asociados a las instalaciones eléctricas se extiendan no más de 150 mm más allá del frente del equipo eléctrico.

b) Espacios libres. El espacio de trabajo requerido por este artículo no se debe utilizar para almacenamiento. Cuando se expongan las partes energizadas normalmente cerradas para su inspección o servicio, el espacio de trabajo en un pasillo o espacio general debe estar debidamente protegido.

c) Acceso y entrada al espacio de trabajo. Debe haber al menos una entrada de suficiente área que dé acceso al espacio de trabajo alrededor del equipo eléctrico. Para equipos de más de 1 200 A nominales y de más de 1,80 m de ancho, que contengan dispositivos de protección contra sobre corriente, dispositivos de conmutación o de control, debe haber una entrada de por lo menos 0,6 m de ancho y de 1,90 m de alto en cada extremo.

Excepciones:

- 1) Si el lugar tiene un frente libre, se permite un medio de salida.
- 2) Si el espacio de trabajo requerido por el artículo 110-16.a) es doble, solo se requiere una entrada al espacio de trabajo y debe estar situada de modo que el borde de la entrada más cercana al equipo esté a la distancia mínima dada en la Tabla 110-16.a) desde dicho equipo.

d) Iluminación. Debe haber iluminación suficiente en todos los espacios de trabajo alrededor de los equipos acometida, cuadros de distribución, paneles de distribución o de los centros de control de motores instalados en interiores. No serán necesarios otros elementos de iluminación cuando el espacio de trabajo esté iluminado por una fuente de luz adyacente, que cumpla con el mínimo requerido. En los cuartos de equipos eléctricos, la iluminación no debe estar accionada exclusivamente por medios automáticos.

e) Altura hasta el techo. La altura mínima hasta el techo de los espacios de trabajo alrededor de los equipos de acometida, cuadros de distribución, paneles de distribución o de los centros de control motores debe ser de 1,90 m. Cuando el equipo eléctrico tenga más de 1,90 m de altura, el espacio mínimo hasta el techo no debe ser inferior a la altura del equipo.

Excepción. Equipos o tableros de acometida en viviendas existentes que no superen los 200 A.

f) Espacio dedicado para equipos: los equipos que están dentro del alcance de la sección 384 y los centros de control de motores, se deben ubicar en espacios dedicados y proteger contra daños como se indica en los siguientes numerales:

Excepción. Equipo de control que por su propia naturaleza o por las exigencias de otras reglas de este código, se permite que esté adyacente o a la vista de la maquinaria que opera.

- 1) Interior: para instalaciones interiores, el espacio dedicado debe incluir las siguientes zonas:

Ancho y profundidad: para la instalación eléctrica se debe tener el espacio dedicado igual al ancho y profundidad del equipo y extendiéndose desde el piso hasta una altura de 7,6 m o hasta el techo estructural, el que sea menor. En esta zona no se deben ubicar tuberías, ductos o equipos ajenos a la instalación

eléctrica. No se considera como techo estructural un techo colgante, suspendido o similar, que no le dé rigidez a la estructura de la edificación. Se permite la protección por rociadores en los espacios dedicados en donde la tubería cumpla con este artículo.

Excepción. En áreas que no tengan el espacio dedicado que describe esta regla, se permiten equipos ubicados a través de plantas industriales que estén separados de equipo no eléctrico por altura o por cerramientos o cubiertas físicas que proporcionen una adecuada protección mecánica por tráfico vehicular, contacto accidental por personal no autorizado o fugas o escapes de sistemas de tuberías.

2) Exterior: el equipo eléctrico exterior se debe instalar en encerramientos adecuados y debe estar protegido contra el contacto accidental por personal no autorizado, tráfico vehicular o fugas o escapes de sistemas de tuberías.

Artículo 13.4 del RETIE: Distancias mínimas para prevención de riesgos por arco eléctrico.

Figura 5. Límites de aproximación

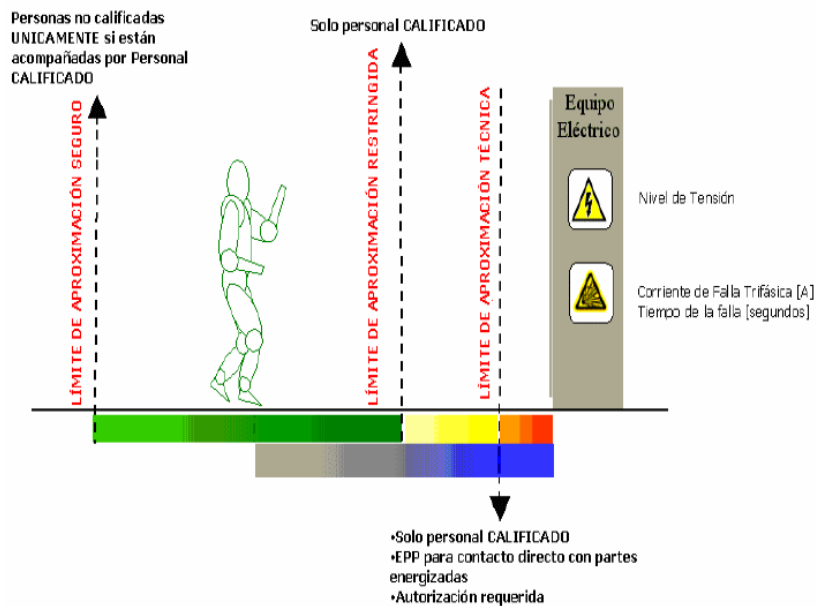


Figura 9. Límites de aproximación

Fuente: Artículo 13.4 del Retie

Figura 6. Límites de aproximación a partes energizadas de equipos

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Limite de aproximación seguro [m]		Limite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Limite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
51 V – 300 V	3,00	1,10	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V – 750 V	3,00	1,10	0,30	0,025
751 V – 15 kV	3,00	1,50	0,66	0,18
15,1 kV – 36 kV	3,00	1,80	0,78	0,25
36,1 kV – 46 kV	3,00	2,44	0,84	0,43
46,1 kV - 72,5 kV	3,00	2,44	0,96	0,63
72,6 kV – 121 kV	3,25	2,44	1,00	0,81
138 kV - 145 kV	3,35	3,00	1,09	0,94
161 kV - 169 kV	3,56	3,56	1,22	1,07
230 kV - 242 kV	3,96	3,96	1,60	1,45
345 kV - 362 kV	4,70	4,70	2,60	2,44
500 kV – 550 kV	5,80	5,80	3,43	3,28

Tabla 20. Límites de aproximación a partes energizadas de equipos.

Fuente: Tabla 20 NTC 2050

Definición de espacios de trabajo de acuerdo con la norma NTC 2050.

Profundidad del espacio de trabajo de acuerdo con tabla 110-16a de la norma NTC 2050.

Figura 7. Profundidad del espacio de trabajo

Tablero	Tensión fase tierra (V)	Profundidad del espacio de trabajo (m)	
		Condición 2	Condición 3
Potencia	267	1,1	1,2
Control	110	0,9	0,9

Fuente: Tabla 110-16 a NTC 2050

Ancho mínimo del espacio de trabajo: 0,75 m

Altura mínima: 1,9 m

Definición de límites de aproximación de acuerdo con RETIE artículo 13.4.

Figura 8. Limites de aproximacion tablero

Tablero	Tensión nominal fase-fase (V)	Límite de aproximación seguro (m)	Límite de aproximación restringida (m)	Límite de aproximación técnica (m)
Potencia	460 V	1,1	0,3	0,025
Control	220 V	1,1	Evitar contacto	Evitar contacto

Fuente:Artículo 13.4 del Retie

Solamente se construirán instalaciones de baja tensión en el proyecto.

Ver plano anexo de distancias de seguridad.

#### 6.4. CÁLCULOS DE REGULACIÓN

Para la ejecución de los cálculos de caída de tensión se utilizó la información extractada de los catálogos de fabricantes Centelsa “RETIE: regulación de tensión en instalaciones eléctricas” y Procables “Selección de conductores eléctricos monopolares”. El referente normativo utilizado es el artículo 210-19 4) de la norma NTC 2050 “*Los conductores de circuitos ramales como están definidos en la Sección 100, con una sección que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5%, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento. Para la caída de tensión en los conductores del alimentador, véase el Artículo 215-2.*”

De acuerdo con el documento referenciado del fabricante de conductores eléctricos Centelsa: Para circuitos de corriente alterna (c.a.) la caída de tensión depende de la corriente de carga, del factor de potencia y de la impedancia de los conductores (en estos circuitos es común la combinación de resistencias, capacitancias e inductancias). Por lo anterior, la caída de tensión se expresa:

La caída de tensión ( $\Delta V = V_s - V_r$ ) se calcula mediante las siguientes fórmulas:

Para circuitos monofásicos:

$$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} = Z_{\text{EF}} * 2 * L * I$$

Para circuitos trifásicos:

$$\Delta V_{\text{FASE-FASE}} = \sqrt{3} * \Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}}$$

$$\Delta V_{\text{FASE-FASE}} = 1.732 * \Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}}$$

$$\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} = Z_{\text{EF}} * 2 * L * I$$

Dónde:

$\Delta V$ : es la caída de tensión en Voltios

L: es la longitud del circuito en Km

I: es la corriente del circuito en A

$Z_{\text{EF}}$ : es la impedancia eficaz en ohm/km

La Regulacion de tension o porcentaje de Caída de Tension se define como:

$$\% \text{ Regulacion} = [(V_s - V_r) / V_r] * 100$$

$$\% \text{ Regulacion} = [\Delta V / V_r] * 100$$

$$Z_{\text{EF}} = R \text{ Cos}\theta + X \text{ Sen}\theta$$

Donde:

$\theta$ : es el ángulo del factor de potencia del circuito.

R: es la resistencia a corriente alterna de conductor.

X: es la reactancia del conductor.

Por otro lado, tenemos:

$$X = X_L - X_C$$

Dónde:

$X_L$ : es la reactancia inductiva

$X_C$ : es la reactancia capacitiva

Nota: En circuitos de baja tensión es despreciable la impedancia capacitiva.

Los calibres de conductores se seleccionaron de acuerdo con la siguiente tabla:

Figura 9. Selección de conductores

Selección de conductores								
Ítem	Nombre	Calibre	# C / fase	Ampacidad	Factor de derrateo por temperatura	Factor de derrateo por # de conductores	Ampacidad Final	Ampacidad Requerida
1	Ventilador de aire fresco	1/0	2	300	1	1	300	247,5
2	Blower 1	12	1	20	1	1	20	17,2
3	Blower 2	12	1	20	1	1	20	17,2
4	Bomba Alimentación Agua B04	2	1	115	1	1	115	105,9
5	Bomba Alimentación Agua B03	2	1	115	1	1	115	105,9
6	Ventilador sello aire fresco	12	1	20	1	1	20	17,2
7	Ventilador sello guillotina	12	1	20	1	1	20	17,2
8	Transformador control	14	1	15	1	1	15	0,0
9	Reserva 25 %	1/0	1	150	1	1	150	132,0
<b>Capacidad de corriente mínima del alimentador (A)</b>		4/0	4	920	1	1	920	577,5

Fuente: Papelsa 2012

Dado que la potencia de los motores de arranque directo es despreciable comparada con la capacidad del transformador no se realiza el cálculo de caída de tensión durante arranque de los motores.

En el caso del ventilador de tiro forzado no se considera necesario el aumento de calibre dado que la demanda esperada de potencia del motor será inferior al 75% de su capacidad.

Los resultados del cálculo de caída de tensión obtenidos para el proyecto se presentan a continuación:



Figura 10. Cálculo caída de tensión

Cálculo caída de tensión																
Ítem	Código SAP	Nombre	Sistema	Tensión (V)	Corriente de carga	F.P.	Longitud (m)	Calibre	Cond. por fase	Tipo de canalización	Z Efectiva (Ohm/km)	Caída de tensión (V)	Porcentaje de regulación alimentador	Porcentaje de regulación ramal <3%	Porcentaje de regulación total <5%	i <sup>2</sup> R (kW)
		Alimentador	3PH	460	577,50	0,9	45	4/0	4	Conduit de Acero	0,065	2,916	0,63%		0,63%	0,78
1	0	Ventilador de aire fresco	3F	460	198	0,9	19,3	2	2	Conduit de Acero	0,336	2,224	0,63%	0,48%	1,12%	0,25
2	0	Blower 1	3F	460	13,75	0,8	39,2	12	1	Conduit de Acero	5,382	5,024	0,63%	1,09%	1,73%	0,05
3	0	Blower 2	3F	460	13,75	0,8	36,8	12	1	Conduit de Acero	5,382	4,717	0,63%	1,03%	1,66%	0,05
4	0	Bomba Alimentación Agua B04	3F	460	84,7	0,9	6,7	2	1	Conduit de Acero	0,672	0,660	0,63%	0,14%	0,78%	0,03
5	0	Bomba Alimentación Agua B03	3F	460	84,7	0,9	8,3	2	1	Conduit de Acero	0,672	0,818	0,63%	0,18%	0,81%	0,04
6	0	Ventilador sello aire fresco	3F	460	13,75	0,8	23,9	12	1	Conduit de Acero	5,382	3,063	0,63%	0,67%	1,30%	0,03
7	0	Ventilador sello guillotina	3F	460	13,75	0,8	25,2	12	1	Conduit de Acero	5,382	3,230	0,63%	0,70%	1,34%	0,03
8	0	Transformador control	1F	460	0	0	2,0	14	1	Conduit de Acero	0,240	0,000	0,63%	0,00%	0,63%	0,00
9	0	Reserva 25 %	3F	460	105,6	0,9	0,0	1/0	1	Conduit de Acero	0,433	0,000	0,63%	0,00%	0,63%	0,00
Total pérdidas en conductores (kW)																0,47

Fuente: Papelsa 2012

NOTA: El artículo 310-4 de norma NTC 2050 establece que únicamente pueden instarse en paralelo conductores de calibre 1/0 AWG y mayor,

## 6.5. CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA

El proyecto cuenta con motores Premium (Alta eficiencia), lo cual permite tener una disminución máxima de las pérdidas.

En la siguiente tabla se presentan las pérdidas calculadas en motores y conductores, aclarando que dada la calidad de los motores no es viable técnico-económicamente la disminución de las pérdidas calculadas.

Figura 11. Perdida motores

Pérdida Motores								
Ítem	Código	Nombre	Sistema	Potencia (HP)	Pot (kW)	EF %	Pérdida Motor (kWh)	
1		Ventilador de aire fresco	3F	150	111,9	95,0%	5,6	
2		Blower 1	3F	7,5	5,595	88,5%	0,6	
3		Blower 2	3F	7,5	5,595	88,5%	0,6	
4		Bomba Alimentación Agua B04	3F	60	44,76	93,6%	2,9	
5		Bomba Alimentación Agua B03	3F	60	44,76	93,6%	2,9	
6		Ventilador sello aire fresco	3F	7,5	5,595	93,6%	0,4	
7		Ventilador sello	3F	7,5	5,595	88,5%	0,6	
8		Transformador control	1F	0	0	100,0%	0,0	
9		Reserva 25 %	3F	75	55,95	100,0%	0,0	
			Total pérdidas en motores (kWh)					13,6
			Total pérdidas en cables (kWh)					0,47
			Factor de demanda promedio					0,50
			Pérdidas totales (kWh)					7,04
			Horas de servicio diario					24
			Valor kWh					206
			<b>Costo anual de las pérdidas (\$)</b>					<b>\$12.710.022</b>

Fuente: Papelsa 2012

## 6.6. ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se utilizaron las siguientes ecuaciones extractadas del Cuaderno Técnico nº 158 “Cálculo de corrientes de cortocircuito” de Schneider Electric:

Figura 12. Ecuaciones cortocircuito

Tipo de de cortocircuito	$I_k''$ Caso general	Defecto alejado de los generadores
Trifásico ( $Z_t$ cualquiera)	$= \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}  Z_d }$	$= \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}  Z_d }$
<p>En los dos casos, la corriente de cortocircuito sólo depende de <math>Z_d</math>. Generalmente <math>Z_d</math> se reemplaza por <math>Z_k</math>: impedancia de cortocircuito en el punto del defecto con <math>Z_k = \sqrt{Rk^2 + Xk^2}</math>, donde <math>Rk</math> es la suma de las resistencia de una fase conectadas en serie, <math>Xk</math> es la suma de las reactancias de una fase conectadas en serie</p>		
Bifásico aislado ( $Z_t = \infty$ )	$= \frac{c \cdot U_n}{ Z_d + Z_i }$	$= \frac{c \cdot U_n}{2  Z_d }$
Monofásico	$= \frac{c \cdot U_n \sqrt{3}}{ Z_d + Z_i + Z_o }$	$= \frac{c \cdot U_n \sqrt{3}}{ 2 Z_d + Z_o }$
Bifásico a tierra ( $Z_{cc}$ entre fases = 0)	$= \frac{c \cdot U_n \sqrt{3}  Z_i }{ Z_d \cdot Z_i + Z_i \cdot Z_o + Z_d \cdot Z_o }$	$= \frac{c \cdot U_n \sqrt{3}}{ Z_d + 2 Z_o }$

### Datos de la tabla

- tensión eficaz compuesta de la red trifásica = U
- corriente de cortocircuito en valor modular =  $I_k''$
- impedancias simétricas =  $Z_d, Z_i, Z_o$
- impedancia de cortocircuito =  $Z_{cc}$
- impedancia de tierra =  $Z_t$

Fuente: Cuaderno Técnico # 158 de Schneider Electric

En los cálculos se asumió que las impedancias de secuencia cero y negativa tienen el mismo valor de la impedancia de secuencia positiva.

Los resultados de los cálculos son presentados a continuación:

Figura 13. Análisis cortocircuito

<b>RED DE MEDIA TENSIÓN</b>	
Tensión kV	44,0
Corriente de falla trifásica simétrica kA	5,0000
Corriente de falla monofásica simétrica kA	5,0000
Relación X/R Secuencia Positiva	2,4000
Relación X/R Secuencia Cero	1,9100
Z1 (Ohm):	5,081
2*Z1+Z0 (Ohm):	15,242
Z0 (Ohm):	5,081
<b>IMPEDANCIAS DE SECUENCIA DE LA RED</b>	
R1 Red (Ohm):	1,954
X1 Red (Ohm):	4,690
R0 Red (Ohm):	2,357
X0 Red (Ohm):	4,501
<b>CABLE DE MEDIA TENSIÓN</b>	
Área sección transversal mm <sup>2</sup>	50
Longitud m	10
Reactancia mOhm/m	0,150
Resistividad Ohm mm <sup>2</sup> /m	0,036
R1 (Ohm)	0,007
X1 (Ohm)	0,002
R0 (Típica 3 x R1)	0,022
X0 (Típica 3 x X1) (Ohm)	0,005
<b>IMPEDANCIAS TOTALES EN MEDIA TENSIÓN</b>	
R1 Red (Ohm):	1,961
X1 Red (Ohm):	4,691
R0 Red (Ohm):	2,378
X0 Red (Ohm):	4,506
<b>IMPEDANCIAS VISTAS EN BAJA</b>	
R1 Red (Ohm):	0,000
X1 Red (Ohm):	0,001
R0 Red (Ohm):	0,000
X0 Red (Ohm):	0,000
<b>TRANSFORMADOR</b>	
S: Potencia (kVA)	2000
Us: Tensión secundaria (V)	460
Ucc: Tensión o impedancia de cortocircuito (Ω)	6%
Con una relación X/R:	5
<b>Icc: Corriente de cortocircuito en secundario (kA)</b>	<b>38,525</b>
Z (Ohm)	0,006
R (Ohm/km)	0,001
X (Ohm/km)	0,006
R acumulada (Ohm)	0,001459
X acumulada (Ohm)	0,007

Z acumulada (Ohm)	0,0068937
<b>Tramo 1 cable (secundario trafo en 12 x 4/0 AWG)</b>	
Calibre	4/0
	Conduit de PVC
R conductor (Ohm/km)	0,203
X conductor (Ohm/km)	0,135
Cables por fase	12
Longitud (m)	10
R acumulada (Ohm)	0,001628
X acumulada (Ohm)	0,007
Z acumulada (Ohm)	0,0070409
<b>I<sub>ss</sub> (kA)</b>	<b>37,720</b>
<b>Tramo 2 cable (Alimentador CCM 3x4/0 AWG)</b>	
Calibre	4/0
Tipo canalización	Conduit de PVC
R conductor (Ohm/km)	0,203
X conductor (Ohm/km)	0,135
Cables por fase	3
Longitud (m)	45
R acumulada (Ohm)	0,005
X acumulada (Ohm)	0,009
Z acumulada (Ohm)	0,0100303
<b>I<sub>ss</sub> (kA)</b>	<b>26,48</b>
<b>Tiempo de despeje de falla (s)</b>	<b>0,3</b>
<b>Capacidad de corto del cable</b>	<b>67,5</b>

Figura 14. Cortocircuito de los conductores

Tramo 3 cable (Tiro forzado)	Tramo 3 cable (Soplador 1 Enf. Ducto Burner)	Tramo 3 cable (Soplador 2 Enf. Ducto Burner)	Tramo 3 cable (Bomba 1 Alimentador Caldera)	Tramo 3 cable (Bomba 2 Alimentador Caldera)	Tramo 3 cable (Ventilador cero fuga ducto tiro forzado)	Tramo 3 cable (Ventilador cero fuga damper entrada)	Tramo 3 cable (Transformador control)	
Calibre	2	12	12	2	2	12	12	14
Tipo canalización	Conduit de PVC	Conduit de PVC	Conduit de PVC	Conduit de PVC	Conduit de PVC	Conduit de PVC	Conduit de PVC	Conduit de Acero
R conductor (Ohm/km)	0,623	6,560	6,560	0,623	0,623	6,560	6,560	10,170
X conductor (Ohm/km)	0,148	0,177	0,177	0,148	0,148	0,177	0,177	0,240
Cables por fase	2	1	1	1	1	1	1	1
Longitud (m)	19,3	39,2	36,8	6,7	8,3	23,9	25,2	2
R acumulada (Ohm)	0,011	0,262	0,246	0,009	0,010	0,161	0,170	0,025
X acumulada (Ohm)	0,010	0,016	0,015	0,010	0,010	0,013	0,013	0,009
Z acumulada (Ohm)	0,01	0,26	0,25	0,01	0,01	0,16	0,17	0,03
I <sub>ss</sub> (kA)	17,89	1,01	1,08	20,04	18,83	1,64	1,56	9,94
Tiempo de despeje de falla (s)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Capacidad de corto del cable	34,6	1,7	1,7	17,3	17,3	1,7	1,7	1,1

El cálculo de la capacidad de cortocircuito de los conductores se determinó con base en la norma UNE 20460-4-43 como se presenta a continuación:

Tres de los conductores de los circuitos no cumplen con la capacidad de corriente de corto circuito en estos casos se buscará la instalación de fusibles como

protección contra sobre corriente para disminuir el tiempo de despeje de falla y aumentar la capacidad de corto de los conductores.

$$I_{cc} = k \cdot S \sqrt{t}$$

En la que

- $I_{cc}$ : corriente de cortocircuito en amperios.
- $k$ : constante que depende de la naturaleza del conductor (Cu o Al) y del tipo de aislamiento (termoplástico [PVC o poliolefinas Z1] o termoestable [XLPE o EPR])
- $S$ : sección del conductor en  $\text{mm}^2$
- $t$ : la duración del cortocircuito en segundos (mínimo 0,1 segundos, máximo 5 segundos).

Fuente: UNE 20460-4-43

El valor de  $k$  es 115 correspondiente a conductores de cobre con aislamiento de PVC.

## **CAPACIDAD DE CORRIENTE DE INTERRUPTORES**

La capacidad de apertura de los interruptores del proyecto debe ser mayor a:

Alimentador:

Corriente Asimétrica = 56,57 kA

Factor de asimetría=1,5

Corriente simétrica 37,7 kA

Interruptores conectados al CCM:

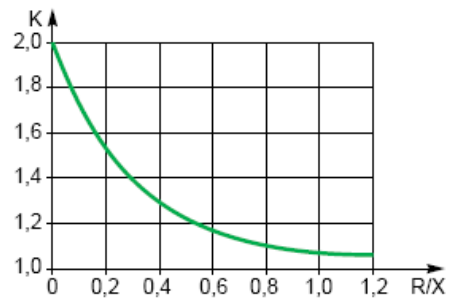
Corriente Asimétrica = 34,42 kA

Factor de asimetría=1,3

Corriente simétrica 26,48 kA

Los factores de asimetría son obtenidos de la siguiente gráfica.

Figura 15. Grafica capacidad de corriente interruptores



*Fig. 9: Variación del factor K en función de R/X o R/L (IEC 60909).*

Fuente:IEC 60909

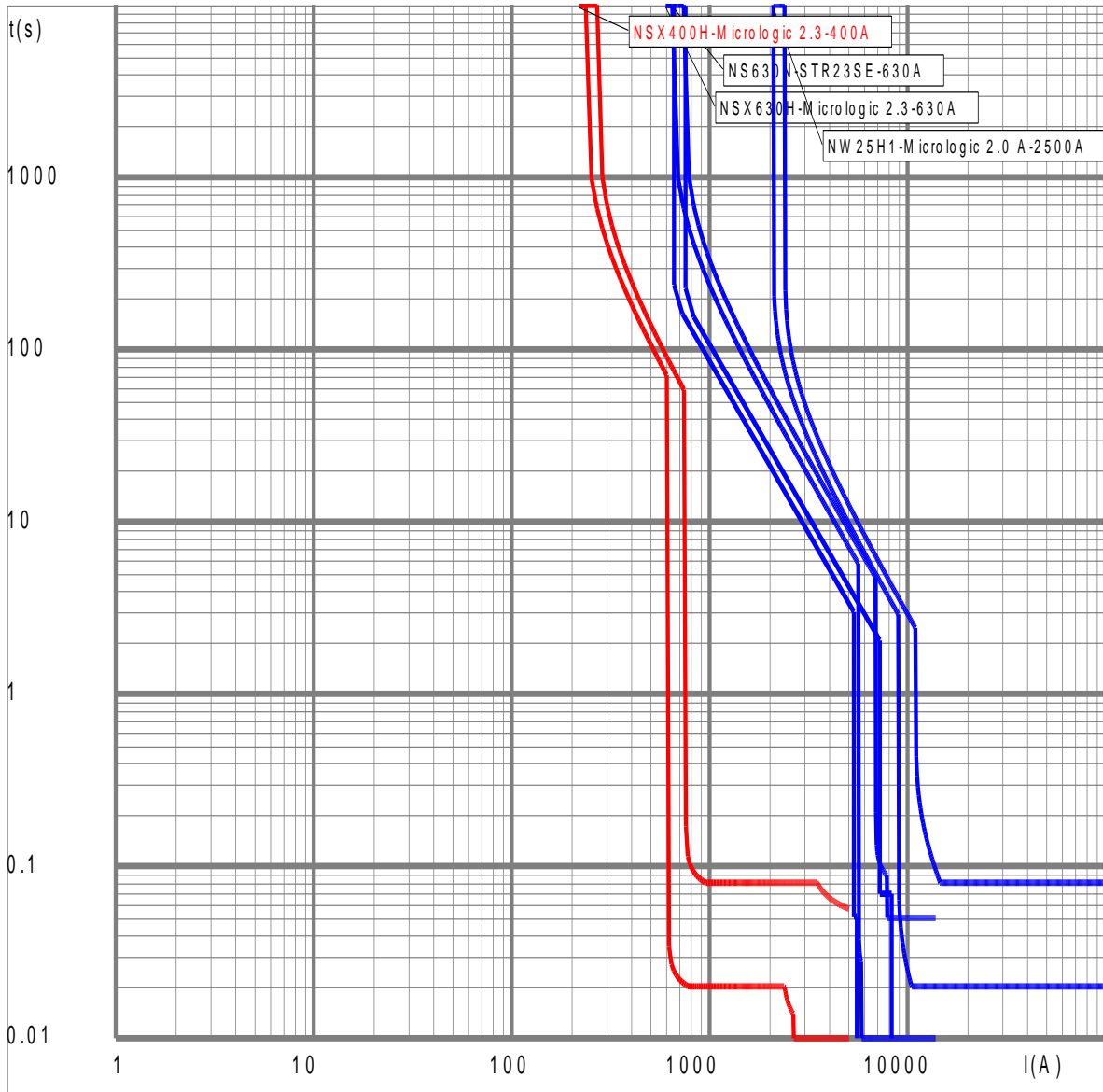
## 6.7. CÁLCULOS Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Para la coordinación de protecciones se utilizó el programa Curve Direct 3.4 de Schneider Electric, encontrando las curvas presentadas a continuación:



# Schneider Electric - Curve Direct V3.4.1 - Curvas de disparo

Figura 16. Curva de disparo 1



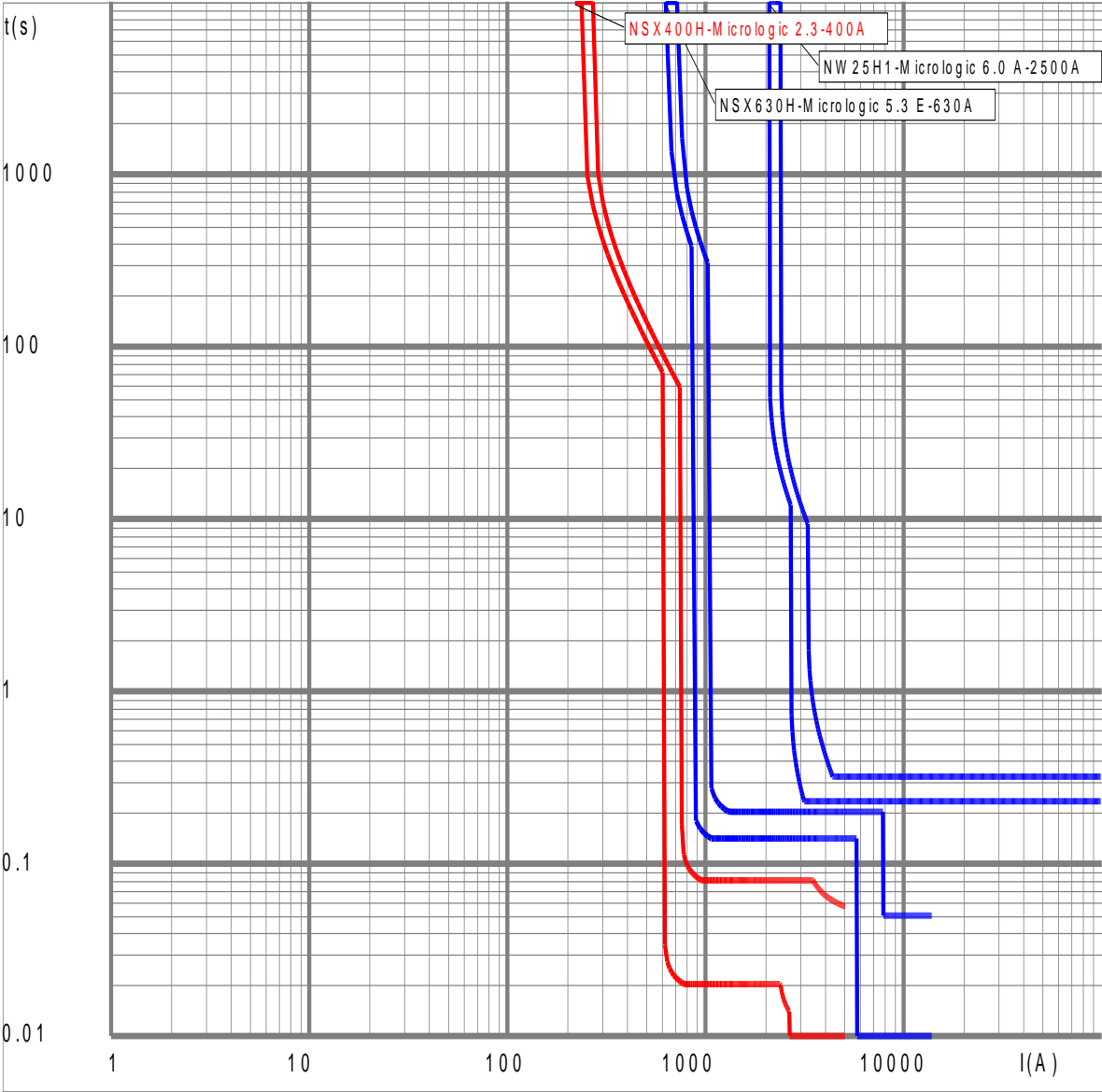
## Regulaciones

<b>Ga&amp;ma</b>	Compact	Compact	Compact	Masterpact
<b>Interruptor automático</b>	NSX400H	NS630N	NSX630H	NW25H1
<b>Relé/curva</b>	Micrologic 2.3	STR23SE	Micrologic 2.3	Micrologic 2.0 A
<b>Calibre</b>	400.00	630.00	630.00	2500.00
<b>Largo retardo</b>				
<b>Io</b>	230.00	1.00	630.00	
<b>Ir</b>	1.00      230.0A	1.00      630.0A	1.00      630.0A	0.80      2000.0A
<b>tr</b>	16.0      16.0s	7.5      7.5s	16.0      16.0s	2.0      2.0s
<b>Corto retardo</b>				
<b>Im/Isd</b>	3.00      690.0A	10.00      6300.0A	10.00      6300.0A	5.00      10000.0A
<b>I<sup>2</sup>t (retardo)</b>				
<b>tm/tsd</b>				
<b>Instantánea</b>				
<b>Ii</b>	4800.0A	11.00      6930.0A	6900.0A	
<b>Selectividad</b>				
<b>Límite</b>	Aparato aguas arriba			

### Observaciones:

- Dentro del análisis se detecta un problema de selectividad entre las protecciones de salida y llegada del alimentador de la caldera Rentech, este hecho no es relevante, dado que los dos interruptores alimentan la misma carga.
- Para cortocircuitos francos se detectó ausencia de selectividad entre el interruptor del alimentador de la caldera Rentech y el interruptor principal del secundario del transformador T3. Este hecho es preocupante, dado que en el evento de una falla se puede generar el disparo indeseado del totalizador.
- Como opción de mejora se podrían instalar unidades de disparo más flexibles, las cuales permitirían mejorar la selectividad y disminuir la energía liberada en una falla con impedancia. Esta opción se ilustra en la siguiente gráfica.

Figura 17. Curva de disparo 2



## Regulaciones

<b>G&amp;ma</b>	Compact	Masterpact	Compact	
<b>Interruptor automático</b>	NSX400H	NW25H1	NSX630H	
<b>Relé/curva</b>	Micrologic 2.3	Micrologic 6.0 A	Micrologic 5.3 E	
<b>Calibre</b>	400.00	2500.00	630.00	
<b>Largo retardo</b>				
<b>Io</b>	230.00			
<b>Ir</b>	1.00      230.0A	0.80      2000.0A	630.0A	
<b>tr</b>	16.0      16.0s	0.5      0.5s	16.0      16.0s	
<b>Corto retardo</b>				
<b>Im/Isd</b>	3.00      690.0A	1.50      3000.0A	1.50      945.0A	
<b>I<sup>2</sup>t (retardo)</b>		OFF	OFF	
<b>tm/tsd</b>		0.30      0.30s	0.20      0.20s	
<b>Instantánea</b>				
<b>Ii</b>	4800.0A	OFF	11.00      6930.0A	
<b>Selectividad</b>				
<b>Límite</b>	Aparato aguas arriba			

Nota: En esta opción se anularía la unidad de disparo del interruptor de llegada del alimentador de la caldera, con el fin de permitir la selectividad con el interruptor de salida.

Protección térmica de motores acorde con artículo 430-32:

Figura 18. Ajuste protección térmica

Ajuste Protección térmica					
Ítem	Nombre	Corriente de placa del motor	Factor de servicio	Factor multiplicador	Ajuste máximo térmico (A)
1	Ventilador de aire fresco	168,00	1,15	1,25	210,00
2	Blower 1	8,90	1,15	1,25	11,13
3	Blower 2	8,90	1,15	1,25	11,13
4	Bomba Alimentación Agua B04	67,00	1,15	1,25	83,75
5	Bomba Alimentación Agua B03	67,00	1,15	1,25	83,75
6	Ventilador sello aire fresco	8,70	1,15	1,25	10,88
7	Ventilador sello guillotina	8,70	1,15	1,25	10,88

## 6.8. CÁLCULO DE DUCTOS

Llenado de tuberías:

El llenado de tuberías se determinó con base en los límites establecidos en la tabla 1 del capítulo 9 de la norma NTC 2050.

Figura 19. Llenado de tuberías

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

**(NOTA):** Este Cuadro 1 se basa en las condiciones más corrientes de instalación y alineación de los conductores, cuando la longitud de los tramos y el número de curvas de los cables caen dentro de límites razonables. Sin embargo, en determinadas condiciones se podrá ocupar una parte mayor o menor de los conductos.

Los resultados indican que en el caso de los circuitos de las Bombas 1 y 2 del Alimentador Caldera y tiro forzado el porcentaje de llenado es del 34%, superando el 31% establecido como límite para 2 conductores. Sin embargo, técnicamente se puede establecer una desviación del requerimiento, dado que el segundo de los conductores que se encuentra instalado en cada una de las tuberías es un conductor de tierra, el cual tiene un área mucho menor que el área de las fases. Si se instalara un conductor adicional # 10 AWG en cada tubería el porcentaje de llenado pasaría al 35% y cumpliría con el porcentaje de llenado para 3 conductores (40%).

Ver plano anexo con cálculo de llenado.

Llenado de Bandejas:

No aplica.

## 6.9. CÁLCULOS DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La instalación de puesta a tierra cumple con los requerimientos de la sección 250 de la norma NTC 2050. Dentro del alcance del proyecto no se incluye el diseño e

instalación de un sistema de puesta a tierra enterrado para el sistema de potencia, dado que la alimentación eléctrica es tomada de una subestación existente (Subestación Planta Pulpa).

Estudio realizado por la empresa INGETESA Documento N° DC-1017-0001-R0.doc

Ver anexo 11.4

## **6.10. ANÁLISIS DE PROTECCIÓN COTRA RAYOS**

Estudio realizado por la empresa INGETESA Documento DC-1017-002-R0.

Ver anexo 11.5

## **6.11. CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN**

Se realizó el cálculo de iluminación con base en el programa DIALUX.

Ver Anexo 11.6

## 7. CONCLUSIONES

- Mediante los cálculos realizados se observó la importancia de aplicar las normas eléctricas a las instalaciones, Ya que previenen riesgos de tipo ocupacional, ambiental y a estructuras físicas.
- De acuerdo a los cálculos se pudo observar el beneficio en cuanto a rentabilidad ya que estos ayudan a que no se sobredimensione la empresa en cuanto a material y consumo de energía.
- Según los resultados arrojados por estas memorias se decidió llevar a cabo los cálculos a las demás instalaciones de la planta, ya que se pudo comprobar los beneficios que estos proporcionan.
- Mediante la realización de las memorias se capacito a todo el personal eléctrico acerca de la importancia de cumplir con la normatividad requerida, y se concientizo acerca de los riesgos a los que se puede estar expuesto al no conocer las normas.
- Es importante la toma de conciencia acerca de los tipos de riesgos que pueden ocurrir al no llevar a cabo las normas reglamentarias para la práctica eléctrica, ya que responde a la necesidad de poseer un sistema seguro y económico a partir de su ejecución.
- Tener en cuenta que los beneficios que se obtienen al realizar trabajos de instalaciones eléctricas cumpliendo con las normas técnicas requeridas, proporcionan comodidad, al realizar trabajos preventivos, predictivos y correctivos.

- Es importante la coordinación de protecciones ya que tiene una respuesta más rápida y eficiente a cualquier evento ajeno al funcionamiento normal eléctrico. Por tal motivo se recomienda realizar cálculos de protecciones a cada equipo instalado.



## 8. RECOMENDACIONES

- Es necesario implementar información clara, como: marcación fina y permanente (en terminales de cable, celdas de tensión, sistemas de control y potencia, entre otros), también señalización eléctrica de advertencia, y socializar con el personal comprometido para una mejor ejecución de las diferentes labores.
- Es de suma importancia elaborar sistemas digitales, escritos y en planos como información de respaldo que nos pueden servir en caso de pérdida de información en los sistemas físicos.
- Es de suma importancia que el personal que instale e intervenga las instalaciones eléctricas sea personal certificado
- Es necesario destinar una sola persona para cada proyecto, ya que si varias intervienen se puede distorsionar la investigación y esto puede generar inconvenientes a largo plazo ya sea con malas instalaciones o con información desacertada.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- GALLON C., Carolina. Aplicación de las prácticas de normalización en el proceso de elaboración de papel en la empresa papeles y cartones s.a. (PAPELSA). Trabajo de Grado para optar por el título de Tecnólogo Industrial. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de administración. Medellín (Antioquia-Colombia), 2012. 69 páginas.
- IEEE STD 1100-1999 IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment. New York. Pág 408
- IEEE STD 242-2001. IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. Pág 710.
- NEC National Electrical Code. Product Manager: Debra Rose.2011.Quincy Massachusetts. Pág. 1512.
- Norma IEC 60617/EN 60617 Símbolos Gráficos para Esquemas. Antonio M.S. Francisco 2003. Pág.52.
- NTC 4552\_1 Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC DE 382/06. Francy Milena Ramírez Torres. Pág. 64.
- NTC 4552\_2 Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC DE 383/06. Francy Milena Ramírez Torres. Pág. 64.
- NTC 4552\_3 Proyecto de Norma Técnica Colombiana NTC DE 383/06. Francy Milena Ramírez Torres. Pág. 64.

- NFPA 850.Recommended Practice For Fire Protection For Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations 2000 Edition. Quincy Massachusetts.
  
- Norma Internacional CEI IEC61346-2. Comisión Electrotécnica Internacional.
  
- Norma Técnica Colombiano (NTC 2050) Código Eléctrico Colombiano. Pág. 955.
  
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) Resolución no.181294 Agosto 06 de 2008.Manuel Fernando Manguashca Olano, Viceministro de Minas y Energía. Bogotá, d. c.,Pág. 164.
  
- Resolución 180540 (RETILAP). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Hernán Martínez Torres. Ministro de Minas y Energía.Bogotá D.C. Pág. 229.

## 10. CIBERGRAFÍA

- <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Grupo%20de%20Participacion%20Ciudadana/PresentacionI SimposioVII.pdf>. Tomada el 25 de Febrero de 2013. 09:50am.
- <http://es.scribd.com/doc/14205685/Norma-RETIE> . Tomada el 18 de Marzo de 2013. 10:20am.
- [Ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/.../NTC\\_2050.pdf](http://Ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/.../NTC_2050.pdf). Tomada el 23 de Marzo de 2013. 09:00am.
- [www.highlights.com.co/index.php/retilap](http://www.highlights.com.co/index.php/retilap). Tomada el 05 de Abril de 2013. 10:20am.
- [www.fluke.com/fluke/eses/.../calidad-energia-electrica.htm](http://www.fluke.com/fluke/eses/.../calidad-energia-electrica.htm). Tomada el 18 Abril de 2013. 12:08pm

## **11. ANEXOS.**

### **11.1 PLANO DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL CALDERA RENTECH:**

**11.2. PLANO DISTANCIAS DE SEGURIDAD- CUARTO ELÉCTRICO CALDERA  
RENTECH.**

### **11.3. PLANO TUBERÍAS, MOTORES Y BANDEJAS.**

## 11.4. CÁLCULOS DE SISTEMA DE PUESTA TIERRA



## **11.5. ANÁLISIS DE PROTECCIÓN COTRA RAYOS**

## 11.6. CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN