



**Diseño Eléctrico del Centro de Control de Motores para  
la nueva PTAR de la Planta de Producción de Papelsa -  
Papeles y Cartones S.A, Ubicada en Barbosa Antioquia.**

**Edilson Nicolás Almanza Quintero**

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Boyacá, Colombia

2020

**Diseño Eléctrico del Centro de Control de Motores para  
la nueva PTAR de la Planta de Producción de Papelsa -  
Papeles y Cartones S.A, Ubicada en Barbosa Antioquia.**

**Edilson Nicolás Almanza Quintero**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director:

MSc, Ingeniero Juan David Rivera Niquepa

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Tunja, Boyacá, Colombia  
2020

*Dedicatoria*

*Este trabajo está dedicado a mis hijos Maily y Maicol, ya que son ellos el motor para seguir adelante y querer tener un desarrollo profesional y un ejemplo que ellos puedan seguir.*

*También a mis padres, ya que de una u otra forma a contribuido a que esta meta se pueda lograr.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a todo el cuerpo de docentes de la universidad, ya que cada una de sus enseñanzas y consejos aportó un granito de arena en este proceso de formación que estoy culminando.

Al ingeniero Juan David Rivera, como encargado del área de formación en redes eléctricas, ya que cada una de las materias vistas durante la etapa de formación contribuyeron en gran medida a la realización de este trabajo.

Un especial agradecimiento a la Universidad Antonio Nariño la cual gracias a su flexibilidad en horarios de clase permite que las personas que trabajamos y estudiamos tengamos el espacio necesario para culminar esta etapa de pregrado.

## Resumen

Las nuevas regulaciones ambientales obligan a las industrias a cumplir con parámetros mínimos de desechos contaminantes a los afluentes de agua, para este fin la infraestructura de Papelsa no cuenta con la capacidad en su planta actual, por lo que se debe realizar la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales, la cual debe contar con un diseño del sistema eléctrico que garantice su funcionamiento. Al inicio del proyecto se realizará un estudio de carga de acuerdo a la proyección de equipos a instalar, estos datos permiten realizar el dimensionamiento de conductores, canalizaciones, protecciones eléctricas y los equipos del centro de control de motores (CCM). La ingeniería del proyecto permite obtener cálculos precisos de algunos subsistemas que tienen mayor riesgo de falla, como lo son: el sistema de protección contra rayos, sistema de puesta a tierra y la coordinación de protecciones, con lo cual se logra una correcta operación de la planta de tratamiento de aguas residuales. El costo del proyecto se determina a partir del diseño eléctrico y las características técnicas de cada uno de los equipos a usar, realizando una selección de la marca de equipos, en general, se usarán variadores de velocidad marca Rockwell, arrancadores universales marca ABB y protecciones generales marca ABB y Schneider. La carga que requiere la PTAR es de 222 kVA, con la mayoría de equipos a 480 V y 215 V y cableado eléctrico para motores tipo VDF con aislamiento XHHW-2.

Palabras clave: planta, CCM, ingeniería, calculo, diseño, costo, VDF.

## Abstract

The new environmental regulations oblige the industries to comply with the minimum parameters of polluting residues towards the tributaries of the water, for this end the infrastructure of Papelsa does not have the capacity in its current plant, therefore, it must carry out the construction of a new, wastewater treatment plant, which must have an electrical system design to ensure its operation. At the beginning of the project, a load study will be carry out according to the projection of the equipment to be installed, this data will allow the dimensioning of conductors, pipes, electrical protections and the equipment of the motor control center (MCC). The engineering of the project allows to obtain precise calculations of some subsystems that have a higher risk of failure, such as: the lightning protection system, the grounding system and the coordination of protections, with ensures a correct operation of the plant wastewater treatment. The cost of the project is determined from the electrical design and the technical characteristics of each equipment to be used, making a selection of the brand of equipment in general, Rockwell variable speed drives, ABB universal starters and general brand protections will be used. ABB and Schneider. The load required by the WWTP is 222 kVA, with most equipment at 480 V and 215 V and electrical wiring for XHHW-2 insulated AFD motors.

Key words: plant, MCC, engineering, calculation, design, cost, AFD.

**CONTENIDO**

<b>Resumen .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1. NORMATIVIDAD.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2. PRESENTACIÓN DE PROYECTOS. ....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. TEORÍA GENERAL. ....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1. DISEÑO INSTALACIONES ELÉCTRICAS. ....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2. DISEÑO ELÉCTRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.3. MEMORIAS DE CALCULO.....</b>	<b>18</b>
<b>2. DESARROLLO METODOLÓGICO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1. RESUMEN DEL PROYECTO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2. DESARROLLO DE MEMORIAS DE CALCULO.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.1. ESTUDIO DE CARGA.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.2. DISEÑO DE SISTEMA DE APANTALLAMIENTO PTAR .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.3. DISEÑO DE SPT PTAR .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.4. ESTUDIO DE COORDINACIÓN PTAR. ....</b>	<b>54</b>
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
<b>3.1.1. ANÁLISIS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CARGA. ....</b>	<b>64</b>
<b>3.1.2. RESULTADOS DEL DISEÑO ELÉCTRICO.....</b>	<b>66</b>
<b>3.1.3. PLANOS PARA CONSTRUCCIÓN Y ESTUDIO ECONOMICO.....</b>	<b>70</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>5. ANEXOS.....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1- 1:</b> Triángulo de potencias activa P y aparente S en un caso de cargas lineales (caso ideal; sin distorsión - armónica). .....	18
<b>Figura 1- 2:</b> Forma de onda ideal y forma de onda distorsionada .....	19
<b>Figura 1- 3:</b> Sobretensiones en una instalación eléctrica. ....	20
<b>Figura 1- 4:</b> Coordinación entre la característica de operación de un descargador y la curva voltaje – tiempo de un aislamiento. ....	21
<b>Figura 1- 5:</b> Esquema de protección de un DPS dentro de una instalación. ....	22
<b>Figura 1- 6:</b> Tipos de DPS de acuerdo a la norma IEC61343-11. ....	23
<b>Figura 1- 7:</b> Metodología para evaluar el nivel de riesgo y establecer las acciones de protección. ....	24
<b>Figura 1- 8:</b> Pasos para el diseño de un SPT basado en la IEEE80. ....	27
<b>Figura 1- 9:</b> Costo inicial y costo operativo de los cables en función de la sección nominal. ....	28
<b>Figura 1- 10:</b> Curvas y secuencia de disparo por cortocircuito y sobrecarga. ....	30
<b>Figura 1- 11:</b> Equipos de protección para motores. ....	30
<b>Figura 1- 12:</b> Límites de aproximación y trabajo en cuartos técnicos. ....	36
<b>Figura 2- 1:</b> Datos usados para la determinación del índice de riesgo. ....	42
<b>Figura 2- 2:</b> Resultados de la evaluación del índice de riesgo. ....	43
<b>Figura 2- 3:</b> Mediciones de resistividad para el área de bombeo inicial. ....	46
<b>Figura 2- 4:</b> Mediciones de resistividad para el área PTAR. ....	47
<b>Figura 2- 5:</b> Calculo económico de conductores en acometidas de CCM principal. ....	51
<b>Figura 2- 6:</b> Calculo económico de conductores en acometidas de CCM bombeo inicial. ....	51
<b>Figura 2- 7:</b> Calculo económico de conductores en acometidas de CCM tablero bombas de proceso. ....	51
<b>Figura 2- 8:</b> Verificación de conductores en acometidas de CCM bombeo inicial. ....	52
<b>Figura 2- 9:</b> Verificación de conductores en acometidas de CCM principal. ....	52
<b>Figura 2- 10:</b> Verificación de conductores en acometidas de CCM tablero bombas de proceso. ....	53
<b>Figura 2- 11:</b> Orden de disparo de protecciones para motores con VFD. ....	54
<b>Figura 2- 12:</b> Orden de disparo protecciones de motores con arranque directo. ....	55
<b>Figura 2- 13:</b> Orden de disparo protecciones de circuito alimentador bombeo inicial ....	55
<b>Figura 2- 14:</b> Orden de disparo de protección de transformador 5 kVA. ....	56
<b>Figura 2- 15:</b> Porcentajes de llenado de bandejas de potencia. ....	57
<b>Figura 2- 16:</b> Porcentajes de llenado de bandejas de instrumentación y control. ....	57
<b>Figura 2- 17:</b> Porcentajes de llenado de tuberías para acometidas de equipos a 480 V en CCM principal. ....	58
<b>Figura 2- 18:</b> Porcentajes de llenado de tuberías para acometidas de equipos a 480 V en CCM bombeo inicial. ....	58

---

<b>Figura 2- 19:</b> Porcentajes de llenado de tuberías para acometidas de equipos a 215 V en CCM bombas de proceso.....	58
<b>Figura 2- 20:</b> Zona de área clasificada reactor IC, clase I, división 2, grupo CD. ....	59
<b>Figura 2- 21:</b> Zona de área clasificada Thiopaq, clase I, división 2, grupo CD. ....	60
<b>Figura 2- 22:</b> Zona de área clasificada Gasómetro, clase I, división 2, grupo CD. ....	60
<b>Figura 2- 23:</b> Zona de área clasificada antorcha, clase I, división 2, grupo CD. ....	61
<b>Figura 2- 24:</b> Vista lateral clasificación de áreas PTAR.....	61

## Lista de tablas

<b>Tabla 1-1:</b> Valores de impedancia (Z) en el secundario del transformador de acuerdo a la IEC 60076-5. ....	23
<b>Tabla 1-2:</b> Máximos valores de exposición a campos eléctricos y magnéticos.....	26
<b>Tabla 1-3:</b> Dimensiones y porcentaje de la sección de los tubos y tuberías.....	31
<b>Tabla 1-4</b> Área de llenado permitidas en bandejas para tensiones con valores menores a 2000 V.....	31
<b>Tabla 1-5:</b> Límites de aproximación a partes energizadas de equipos. ....	35
<b>Tabla 2- 1:</b> Análisis de cargas iniciales y futuras en equipos y tableros a 480 V en CCM principal.....	38
<b>Tabla 2- 2:</b> Análisis de cargas iniciales y futuras en equipos y tableros a 480 V en CCM Bombeo inicial. ....	39
<b>Tabla 2- 3:</b> Análisis de cargas iniciales y futuras en equipos de proceso a 124 V.....	40
<b>Tabla 2- 4:</b> Selección de DPS.....	41
<b>Tabla 2- 5:</b> Análisis de cortocircuito línea – línea y línea – tierra para tableros nuevos..	42
<b>Tabla 2- 6:</b> Ubicación de puntas captoras para aplicación del método de la esfera rodante.....	44
<b>Tabla 2- 7:</b> Análisis de riesgo PTAR Papelsa y medidas de corrección en el proyecto...	45
<b>Tabla 2- 8:</b> Datos de transformador 5 kVA bombas de proceso. ....	46
<b>Tabla 2- 9:</b> Cálculo de corriente para el diseño del sistema de puesta a tierra de la PTAR entregado por Papelsa. ....	47
<b>Tabla 2- 10:</b> Datos de diseño SPT cuarto eléctrico CCM. ....	48
<b>Tabla 2- 11:</b> Resultados del cálculo para el STP del cuarto eléctrico. ....	49
<b>Tabla 2- 12:</b> Datos de diseño SPT bombeo inicial.....	49
<b>Tabla 2- 13:</b> Resultados del cálculo para el STP bombeo inicial. ....	49
<b>Tabla 2- 14:</b> Datos de diseño y resultado del SPT para el sistema de apantallamiento..	50
<b>Tabla 2- 15:</b> Distancias de seguridad cuarto técnico PTAR Papelsa.....	63

## Lista de Símbolos y abreviaturas

<i>kW</i>	Kilowatt en <i>J/s</i>
<i>kVA</i>	Kilovoltiamperios
<i>P</i>	Potencia eléctrica (kW)
<i>S</i>	Potencia aparente (kVA)
<i>Q</i>	Potencia reactiva ( <i>jQ</i> )
<i>HP</i>	Caballos de potencia
<i>fp</i>	Factor de potencia
<i>kWh</i>	Kilovatio por hora
<i>I</i>	Corriente eléctrica (A)
<i>V</i>	Tensión
<i>A</i>	Área en m <sup>2</sup>
<i>E</i>	Energía
<i>ρ</i>	Resistividad en Ω
<i>l</i>	Longitud en m
<i>Δt</i>	Delta de tiempo
<i>CI</i>	Costo de instalación
<i>CJ</i>	Costo de operación
<i>K</i>	Constante de regulación
<i>T</i>	Temperatura
<i>λ</i>	Temperatura de resistencia cero
<i>I<sub>cc</sub></i>	Corriente de cortocircuito en kA
<i>CCM</i>	Centro de control de motores
<i>PTAR</i>	Planta de tratamiento de aguas residuales

# INTRODUCCIÓN

Papelsa, Papeles y cartones S.A, es una compañía dedicada a la fabricación de cajas de cartón corrugado, papel y laminas, su sede principal se encuentra ubicada en el municipio de Barbosa Antioquia y cuenta con dos sedes alternas, una ubicada en el mismo municipio y otra ubicada en Bogotá. Dentro de su sistema integrado medio ambiental, busca garantizar que los desechos sobrantes del área de producción cuenten con un tratamiento adecuado a la hora de verter estos líquidos en el río Medellín. Lo anterior se logra con una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, que cuente con tecnología reciente.

El sistema eléctrico de una PTAR cuenta con cierta complejidad, porque está compuesto en su gran parte por motores y bombas, que cumplen tareas específicas dentro del proceso de tratamiento de agua.

Para el control de motores es necesario contar equipos como VDFs, Arrancadores Universales, protecciones con cumplimiento de norma IEC60947-2 y una serie de accesorios de control. Todos los equipos se deben concentrar en un CCM, que a través de un sistema SCADA, puede realizar el control de cada uno de los equipos que intervienen en el proceso.

Este proyecto presenta el desarrollo de ingeniería correspondiente al diseño eléctrico del CCM para la nueva PTAR de Papelsa S.A, en éste se incluyen estudios de carga, selección de equipos de control para bombas, motores y distribución de los mismos dentro de CCM. Dentro del diseño eléctrico se realiza en análisis y desarrollo de cada uno de los literales que aplican del numeral 10.1.1 del RETIE 2013 y un estudio económico que incluye el costo de mantenimiento por 10 años.

Los cálculos más relevantes tienen que ver con el diseño del sistema de apantallamiento, el diseño del sistema puesto a tierra (SPT), el estudio de validación de las protecciones en BT, el estudio económico del proyecto, al igual que la edición de cada uno de los planos y documentos para construcción con los cuales el constructor realizará la obra.

## **Descripción del problema**

Actualmente, Papelsa cuenta con un sistema primario para el tratamiento de aguas residuales industriales, por medio de una celda de flotación por aire de disolución (DAF), este sistema cumple con la normatividad local vigente. Sin embargo, desde enero de 2016 entro en vigencia una nueva regulación (resolución 631 de 2015), por lo que el sistema existente, no podrá cumplir con los nuevos parámetros requeridos de descargas de afluentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo, 2015).

Como resultado se requiere una nueva planta de tratamiento de aguas residuales, para estar de acuerdo con los nuevos parámetros de la regulación mencionada (Papelsa Papeles y Cartones, 2018).

Para la operación de la nueva planta, es necesario la instalación de una serie de equipos eléctricos, que son los encargados de realizar uno a uno los procesos de tratamiento del agua, estos equipos requieren de una infraestructura eléctrica adecuada que garantice la correcta operación del sistema y cumpla con cada uno de los lineamientos que establece el RETIE (RETIE, 2013).

## **Justificación**

El ministerio del ambiente en uso de sus facultades legales, considerando, que el artículo 49 de la constitución política establece, que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del estado, y que por lo anterior se publica la resolución 631 de 2015. Esta tiene como objeto y ámbito de aplicación, establecer los parámetros y valores límites máximos permisibles, que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público (Ministerio de Ambiente y Desarrollo, 2015).

Los vertimientos se definen en aguas residuales domésticas, las cuales proceden de hogares, colegios y restaurantes pequeños, y aguas residuales no domésticas, las cuales proceden de actividades industriales y comerciales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo, 2015).

Teniendo en cuenta que para Papelsa Papeles y Cartones S.A, es de vital importancia la construcción adecuada de la nueva PTAR, es necesario realizar un diseño de todos los componentes que influyen en la operación y tratamiento de agua de la planta, como las

obras civiles, obras de plomería, sistemas mecánicos y sistemas eléctricos de potencia y control (Papelsa Papeles y Cartones, 2018).

El sistema eléctrico es un componente muy importante porque es el eje principal de funcionamiento de la planta; éste interviene en cada uno de los procesos como, el bombeo de aguas de una estación a otra, la inyección de agentes químicos para el tratamiento de agua, la deshidratación de los lodos para la extracción de líquidos, en todos los sistemas de medición que garantizan el correcto funcionamiento del proceso y los demás sistemas auxiliares como, el sistema de iluminación, tomas de servicio y mantenimiento (PTAR Salitre, Bogotá, 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior, Papelsa requiere un diseño eléctrico del Centro de Control de Motores de la Planta, que garantice el uso eficiente de la energía, un control adecuado de los caudales y unos costos bajos de operación y mantenimiento (RETIE, 2013).

El diseño eléctrico debe cumplir cada uno de los lineamientos a que se obliga de acuerdo al RETIE (RETIE, 2013).

### **Pregunta para investigación**

¿Cómo establecer cual es la infraestructura eléctrica que requiere la nueva planta de tratamiento de aguas residuales de Papelsa S A para su funcionamiento?

### **Objetivo General**

Realizar el diseño eléctrico del Centro de Control de Motores para la nueva PTAR de la Planta de Producción de Papelsa - Papeles y Cartones S.A, ubicada en Barbosa Antioquia.

### **Objetivos Específicos**

- Ejecutar un estudio de carga de la planta teniendo en cuenta las condiciones entregadas por el área de obra civil y mecánica del proyecto, que garantice un uso eficiente de la energía eléctrica.
- Realizar cada uno de los cálculos que requiere el diseño eléctrico del CCM, teniendo en cuenta los ítems que apliquen de acuerdo a lo establecido en el numeral 10.1.1 del RETIE y las especificaciones técnicas entregadas por Papelsa.
- Realizar planos eléctricos para construcción y un estudio económico del proyecto.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. ESTADO DEL ARTE

### 1.1.1 NORMATIVIDAD.

En Colombia, el ministerio de minas y energía, es el encargado de establecer los reglamentos técnicos para la instalación de sistemas eléctricos, los cuales permitan garantizar la protección a las personas, animales, bienes y equipos, en los que se tenga algún tipo de intervención eléctrica (RETIE, 2013).

En el RETIE se establecen los lineamientos que garantizan los objetivos de protección contra los riesgos de tipo eléctrico, para esto, se han recopilado los preceptos esenciales que definen las condiciones técnicas básicas en la instalación de sistemas eléctricos y para donde aplican dichas condiciones. Así mismo afianza todos los requisitos técnicos a tener en cuenta entre, la red de generación, distribución, uso final, con los usuarios y constructores (RETIE, 2013).

El Código Eléctrico Nacional (NEC), es una extensa colección de artículos que buscan garantizar la segura instalación de los equipos eléctricos y el cableado eléctrico en los Estados Unidos. El Código fue publicado originalmente en 1897, y ha sido actualizado en numerosas ocasiones, por lo general cada tres años, desde entonces. El Código es una publicación de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios, (NFPA), como parte de su serie de códigos Nacionales de Incendios (NEC, 2017).

La versión más reciente del Código es la edición 2017, y como un libro encuadernado, es de alrededor de 1.000 páginas, también está disponible en formato electrónico y tiene un libro de explicación llamado NEC handbook (NEC, 2017).

Para Colombia se tiene la NTC-2050 la cual es una traducción del NEC, sin embargo, no se tiene la traducción actualizada lo que hace que algunas partes del contenido sean ambiguas y ya no cumplan con la normatividad actual (NTC-2050, 1998).

La IEC60947-2, establece los parámetros a tener en cuenta para una adecuada coordinación de protecciones en BT, los tipos de protecciones a usar que garanticen una selectividad optima, seguridad en las personas y que sean económicamente viables.

### 1.1.2 PRESENTACIÓN DE PROYECTOS.

En 2018 estudiantes de la Universidad Distrital, como parte de un trabajo final de grado desarrollaron un proyecto, en éste, explican la metodología a usar en un estudio de coordinación de protecciones con el Software **ETAP**, en este se desarrollan temas como qué tipo de protecciones se deben usar de acuerdo al tipo de carga, tipos de curvas de las protecciones y el ajuste de los tiempos de disparo térmico y magnético de las protecciones (Vargas Ruiz & Ospina Usaquen, 2018).

En 2016, como parte de trabajo de pasantía, se presentó una descripción de la metodología para la elaboración y presentación de proyectos eléctricos de subestaciones tipo local, este describe y explica cada uno de los puntos exigidos en el RETIE para la presentación de un diseño eléctrico y presenta varios ejemplos tomados de proyectos presentados a CODENSA, EBSA, EMCALI, entre otras (Salamanca Gaviria, 2016).

Codensa presento la versión 3 de la guía para la presentación de diseños eléctricos en media y baja tensión, en agosto de 2019, la cual ha sido desarrollada, con el fin de orientar al diseñador, respecto a los lineamientos legales y técnicos relevantes al proceso de radicación de diseños para su conexión al sistema de distribución local (ENEL Codensa, 2019).

El grupo empresas públicas de Medellín (EPM), contiene la publicación en su página el documento, de presentación de proyectos eléctricos particulares para la conexión al sistema de distribución eléctrica, en este documento se establecen requisitos para la presentación de diseños eléctricos para particulares, redes de distribución y alumbrado público (EPM, 2017).

## 1.2. TEORÍA GENERAL.

Un Centro de Control de Motores (CCM) es el encargado de alimentar proteger y controlar acometidas eléctricas para motores dentro de una industria, dentro de sus componentes se tienen sistemas de arranque como son variadores de frecuencia (VDFs), contactores y arrancadores universales, los cuales se encargan de controlar el encendido, apagado y en algunos casos como los VDF se controla la velocidad de funcionamiento (Siemens, 2019).

Un VDF es un equipo que tiene un circuito electrónico, éste realiza una conversión de corriente alterna (CA) a corriente directa (CD) mediante un rectificador y posteriormente de CD a CA mediante un inversor el cual puede variar la tensión y frecuencia de salida hacia el motor, con lo cual se puede tener una variación en su velocidad, obteniendo ahorros de energía y prolongando la vida útil de dichos motores (Centelsa, 2018).

El uso de VDFs en la industria reduce considerablemente los efectos de distorsión armónica en la red, evitando la deformación de la onda de 60Hz a niveles medidos en %, creando perturbaciones en la red eléctrica que pueden disminuir el factor de potencia, y obligando a usar bancos de condensadores para mitigar efectos de energía reactiva en la instalación.

Los arranques universales son equipos electromecánicos que cuentan con un sistema de arranque electrónico estrella – triangulo, relés de sobrecarga, relés de sobretensión y detección de falla en alguna de las líneas (ABB, 2020).

### 1.2.1. DISEÑO INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

En Colombia, todas las instalaciones eléctricas, sin excepción, deben cumplir los requisitos establecidos por el RETIE, los cuales deben velar por la vida de las personas, una protección de los animales y la vegetación, y una protección de los bienes inmuebles. Para instalaciones eléctricas con capacidad instalada igual o mayor de 9 kW, deben contar con un diseño eléctrico realizado por un profesional competente y autorizado para el desarrollo de dicha actividad, dependiendo del tipo de instalación, este diseño puede ser detallado o simplificado tal y como lo establece el artículo 10 del RETIE (RETIE, 2013).

## 1.2.2. DISEÑO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico debe contener una memoria de cálculo para cada uno de los literales relacionados en el numeral 1.2.3 de este documento, la profundidad con que se manejen dependerá del riesgo asociado y el análisis del profesional que lo realice.

## 1.2.3. MEMORIAS DE CALCULO

### a. Carga eléctrica requerida incluido crecimiento a futuro, incluyendo determinación de factor de potencia y la distorsión armónica en la red.

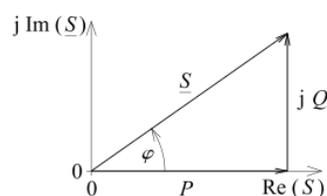
La determinación de la carga eléctrica necesaria, es muy importante en los proyectos eléctricos, en estos se pauta punto por punto la información de las cargas eléctricas, la descripción de las potencias que maneja cada uno de los equipos a instalar, la capacidad de las protecciones, el calibre de los conductores y el número de circuitos para un tablero eléctrico en particular, o para toda la instalación (RETIE, 2013).

Las cargas de demanda se definen en caballos de potencia (*HP*) o en kilo Watt (*kW*) como lo muestra la Ecuación 1.

$$1HP = 0,745 kW \quad [1]$$

El factor de potencia está definido como la relación entre potencia activa, *P*, y potencia aparente, *S*, (ver Figura 1-1), éste entrega una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Para cargas resistivas el factor de potencia es 1 y en cargas capacitivas e inductivas que tienen un valor de resistencia muy bajo lo cual es despreciable, el factor de potencia se considera 0. De acuerdo a lo anterior el factor de potencia se puede considerar para valores entre  $0 < \text{fp} < 1$  y la definición matemática se relaciona en la Ecuación 2.

**Figura 1- 1:** Triángulo de potencias activa *P* y aparente *S* en un caso de cargas lineales (caso ideal; sin distorsión - armónica).



**Fuente:** (Expósito, Ramos, & Santos, 2007).

$$fp = \frac{P}{S} \quad [2]$$

En circuitos no lineales, la onda no es totalmente senoidal debido a que estas cargas crean corrientes armónicas, las cuales se pueden representar por la tasa de distorsión armónica (THD), para este caso el  $f_p$  está determinado por la Ecuación 3:

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad [3]$$

Donde,  $P$ , es la potencia activa,  $Q$ , es la potencia reactiva y  $D$  es la componente de distorsión.

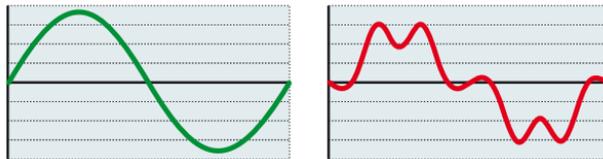
La selección del conductor eléctrico depende de la tensión del sistema, la carga y el factor de potencia con los que se halla la corriente, el valor de la corriente para un sistema trifásico, se determina a partir de la Ecuación 4.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * fp} \quad [4]$$

Donde,  $P$  es la carga en VA,  $V$  es la tensión del sistema y  $f_p$ , el factor de potencia.

Los armónicos son el resultado de una serie de variaciones adecuadamente acomodadas en un rango o frecuencia de emisión, estas también llamadas perturbaciones ocurren por la presencia de cargas combinadas tipo resistivo, inductivo y capacitivo las cuales generan distorsión en la onda de tensión como se muestra en la Figura 1-2 (Circutor, s.f.).

**Figura 1- 2:** Forma de onda ideal y forma de onda distorsionada



**Fuente:** (Circutor, s.f.).

Dentro del diseño eléctrico se deben tener presentes las perturbaciones en la red. Los porcentajes de perturbación los define el estándar IEC 61000-2-4, dentro del cual se establecen tres clases.

- Clase 1: Equipos sensibles con % de distorsión máximo 5 %.
- Clase 2: Cargas cercanas al centro de medida con % de distorsión máximo 8 %.
- Clase 3: Cargas lejanas de circuitos con % de distorsión máximo 10 %.

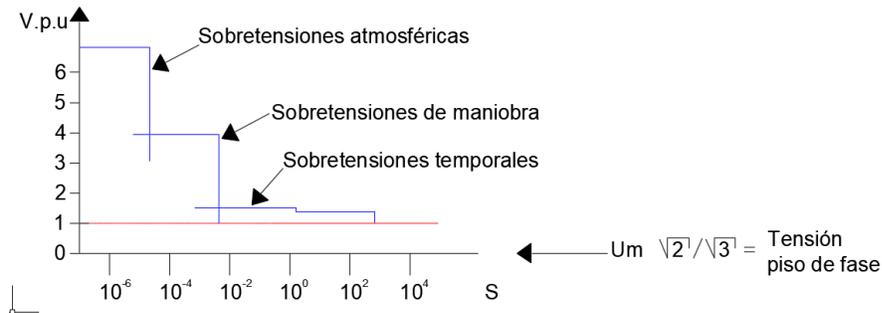
Si los valores de acuerdo a la clase y equipo superan estos porcentajes se deben tomar medidas de corrección como la instalación de bancos de condensadores para compensación de la potencia reactiva del sistema (Circutor, s.f.).

Para realizar un análisis de armónicos se usa un software como **ETAP**, ya que el modelo matemático usa el método de Newton-Raphson, lo cual lo hace muy extenso.

### b. Coordinación de aislamiento eléctrico por sobretensiones.

El aislamiento eléctrico tiene en cuenta sobretensiones atmosféricas, de maniobra y temporales como lo muestra la Figura 1-3.

**Figura 1- 3:** Sobretensiones en una instalación eléctrica.

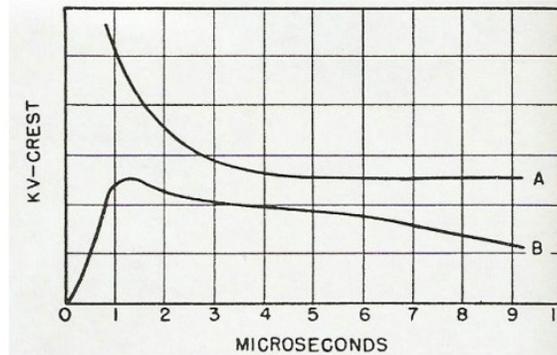


**Fuente:** (Ruiz Rojas & Lozano Bayona, Coordinación de aislamiento, 2017).

Cuando se tienen proyectos en BT, la principal causa de daño del aislamiento en los conductores se produce por causa de sobretensiones atmosféricas, por lo que se debe realizar análisis de riesgo por rayos e instalar dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).

Para que exista una adecuada coordinación de aislamiento como lo muestra la Figura 1-4 es necesario que la curva de tensión transitoria (curva A), esté siempre por encima de la curva de operación del DPS (curva B), manteniendo un espacio entre las curvas.

**Figura 1-4:** Coordinación entre la característica de operación de un descargador y la curva voltaje – tiempo de un aislamiento.



**Fuente:** (Ruiz Rojas & Lozano Bayona, Coordinación De Aislamiento Centrales Y Subestaciones, 2007).

La norma IEC 61643-11 establece los parámetros a tener en cuenta cuando se seleccionan DPS para tensiones menores a 1000 V, de acuerdo a lo siguiente:

$I_{imp}$ : Corriente de impulso de rayo en forma de onda 10/350  $\mu s$  que un dispositivo puede soportar.

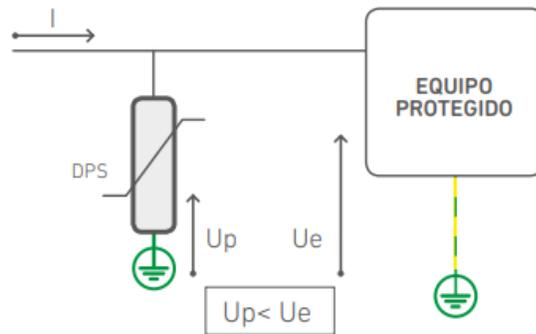
$I_{max}$ : Corriente máxima de descarga en forma de onda 8/20  $\mu s$  que un dispositivo puede soportar

$I_n$ : Corriente nominal de descarga en forma de onda 8/20  $\mu s$  que un dispositivo puede soportar por mínimo 20 veces.

$U_p$ : Nivel de protección, que es el valor máximo residual entre los bornes en aplicación de una corriente de cresta nominal

$U_c$ : Tensión máxima de funcionamiento la cual puede ser aplicada permanentemente en los bordes del dispositivo.

La Figura 1-5 muestra el esquema de protección de un DPS dentro de una instalación, en esté se evidencia que el valor de  $U_p < U_e$ , para que se pueda garantizar la protección.

**Figura 1- 5:** Esquema de protección de un DPS dentro de una instalación.

**Fuente:** (Cirprotec, 2018).

Donde,  $I$ , es la corriente que circula por el circuito y  $U_e$  es la tensión máxima soportada por los equipos dentro de la instalación.

Para la selección de la  $U_p$  del equipo se tiene en cuenta lo siguiente:

- Si la tensión nominal de línea a tierra del sistema está por debajo de los 150 V, el nivel de protección  $U_p$  puede estar entre los 0,8 kV y los 1,5 kV.
- Si la tensión nominal de línea a tierra del sistema está entre 150 V y 440 V, el nivel de protección  $U_p$  puede estar entre los 1,5 kV y los 2,5 kV.
- Si la tensión nominal de línea a tierra del sistema es mayor de 440 V, el nivel de protección  $U_p$  puede estar en 4 kV.

La Figura 1-6 define los tipos de DPS de acuerdo a las clases de pruebas establecidas en la norma IEC 61643-11 y los usos de cada uno teniendo en cuenta la zona de protección definida en la IEC 62305-4.

**Figura 1- 6:** Tipos de DPS de acuerdo a la norma IEC61343-11.

IEC/EN 61643-11	Tipo 1/Clase I	Tipo 2/Clase II	Tipo 3/Clase III
<b>Definición</b>	Diseñado para su uso en cuadros de suministro de acometida donde el riesgo de impacto es elevado, especialmente en edificios con un sistema de protección externo. Debe ir acompañado de protectores Clase II aguas abajo.	Diseñado para su uso en cuadros de distribución ubicados aguas abajo de protectores de Clase I o en cuadros de suministro entrantes en zonas de baja exposición a impactos, donde el edificio no está equipado con un sistema de protección externo.	Siempre instalado aguas abajo de una protección de Clase II diseñada para proteger equipos sensibles o equipos situados a más de 10 metros aguas abajo del DPS de Clase II.
<b>LPZ IEC 62305-4 zona de protección</b>	LPZ 1	LPZ 2	LPZ 3
<b>Prueba de clase según IEC/EN 61643-11</b>	Curva de 10/350 $\mu$ s, ensayo de Clase I.	Curva 8/20 $\mu$ s, ensayo de Clase II.	Curva combinada 1,2/50 $\mu$ s-8/20 $\mu$ s de ensayo Clase III.
<b>Sobretensión transitoria</b>	Impacto directo de rayo (corriente).	Impacto indirecto de rayo en la línea de distribución (aérea) o sus proximidades (elevación del potencial de tierra o de inducción por acoplamiento del campo electromagnético del rayo) o en el caso de una conmutación.	Impacto indirecto de rayo a una distancia elevada del foco de la sobretensión, caracterizado por una corriente y una tensión que pueden llegar a los equipos aguas abajo en la instalación.
<b>Capacidad de descarga (Iimp, Imax)</b>	Alta 	Media 	Baja 
<b>Nivel de protección en tensión (Up)</b>	√ (Básico)	√√ (Fino)	√√√ (Muy Fino)

**Fuente:** (Cirprotec, 2018).

**c. Cálculo del valor cortocircuito línea – línea y línea – tierra**

El cálculo de cortocircuito se realiza para establecer la corriente de cortocircuito en el circuito alimentador, éste permite seleccionar la capacidad interruptiva en *kA*, de la protección general y verificar el conductor seleccionado, esta verificación se puede realizar mediante un modelamiento matemático, al igual que sobre software de simulación como **ETAP**.

La norma IEC 60076-5 fija los siguientes valores característicos de la impedancia de cortocircuito para transformadores de dos arrollamientos como lo muestra la Tabla 1-1.

**Tabla 1-1:** Valores de impedancia (Z) en el secundario del transformador de acuerdo a la IEC 60076-5.

Potencia nominal kVA	Impedancia [Z] %
Hasta 630	4.0
631 a 1250	5.0
1251 a 3150	6.25
3151 a 6300	7.15
6301 a 12500	8.35
12501 a 25000	10.0
25001 a 200000	12.5

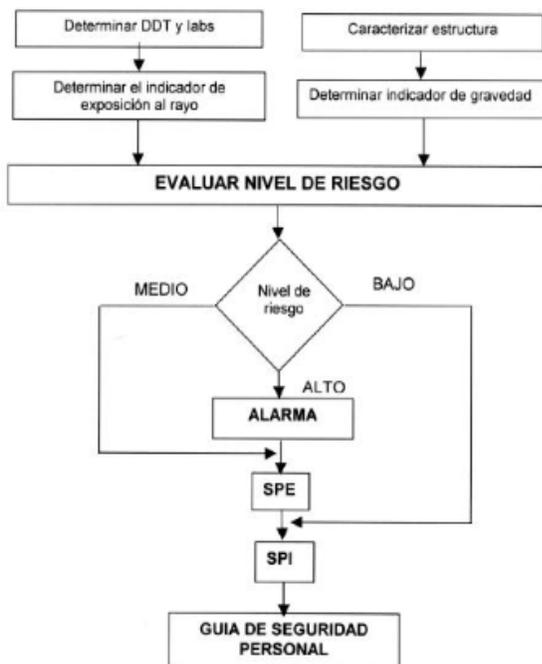
**Fuente:** (International Electrotechnical Commission, 2006)

#### d. Estudio de nivel de riesgo por descargas atmosféricas, junto con medidas de protección.

El estudio de riesgo por rayos se realiza con el fin de reducir los daños físicos sobre estructuras debido a descargar directas e indirectas, si el análisis determina la necesidad de instalar medidas de protección, se realiza la instalación de barreras de protección tanto externas como internas, que permitan brindar protección a las estructuras, a los bienes y servicios, y a las personas. Los parámetros establecidos para la evaluación de riesgo por rayos y las medidas para mitigarlos los definen la IEC 62305-1, 2 y 3, y para Colombia la NTC-4552-1, 2 y 3, las cuales establecen los métodos de evaluación, los distintos diseños del sistema de apantallamiento y las condiciones técnicas generales requeridas (NTC-4552-2, 2008).

La Figura 1-7 muestra la metodología a seguir para evaluar el nivel de riesgo y establecer acciones de protección.

**Figura 1- 7:** Metodología para evaluar el nivel de riesgo y establecer las acciones de protección.



**Fuente:** (NTC 4552, 2004).

La metodología a usar en el análisis de riesgo por rayo esta descrita en la NTC-4552-1,2 y 3, esté documento no se incluye ya que contiene un análisis extenso que no es posible anexas. De otra parte, en la actualidad existen software de simulación como **EC Risk**

**Assessment Calculator** el cual está basado en la norma IEC 62305-2 y puede determinar la necesidad o no de implementar un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

#### **e. Riesgos de naturaleza eléctrica y medidas de corrección.**

Los riesgos que genera un sistema eléctrico son:

- Trabajos sin tensión
- Arco eléctrico
- Trabajos con tensión que puedan ocasionar contactos involuntarios ya sean directos o indirectos.
- Descargas atmosféricas
- Picos altos de tensión
- Incendios por sobrecarga en la red eléctrica.
- Suspensión de servicio a causa de disparos por cortocircuito.
- Valores de tensión de paso y contacto.

Cualquier instalación eléctrica está determinada como alto riesgo, si no tiene medidas de protección que eviten comprometer la salud o vida de las personas, por lo anterior, es necesario realizar una evaluación de la probabilidad que ocurra algún tipo de accidente, la gravedad de este y las condiciones del medio ambiente; con estos datos se determinara en nivel de riesgo. El modelo de la matriz de análisis de riesgos se puede evidenciar en el artículo 9.1 del RETIE (RETIE, 2013).

#### **f. Nivel tensión requerido necesario.**

El nivel de tensión requerido se basa en la carga y equipos a instalar, tales como motores, motobombas, equipos especiales, luminarias, servicios etc. Este punto es de alta importancia ya que con el nivel de tensión se especifican transformadores, protecciones, conductores, corrientes, DPS, distancias de seguridad, entre otros que son el eje principal de la instalación eléctrica y el diseño correcto de cada uno sus componentes (NTC-2050, 1998).

#### **g. Cálculo de campos eléctricos y magnéticos.**

El RETIE establece los límites de exposición a campos electromagnéticos en el artículo 14.3, donde se determina que la exposición a campos electromagnéticos, se puede dar en algunos lugares y tipos de instalación específicos. Si las personas que están cerca dichos lugares o instalaciones, no deben ser expuestos a campos que superen los datos de la Tabla 1.2, la cual se muestra a continuación (RETIE, 2013).

**Tabla 1-2:** Máximos valores de exposición a campos eléctricos y magnéticos.

Exposición en horas.	Valor de campo eléctrico (kV/m)	Valor de flujo magnético (UT)
Personas que trabajen jornada continua durante 8 horas.	8.3	1000
Personas cerca que estén hasta ocho horas continuas	4,16	200

**Fuente:** (RETIE, 2013, pág. Tabla 14.1).

#### **h. Selección y cálculo de transformadores.**

En esta sección se deben especificar las características técnicas de los transformadores que forman parte del sistema eléctrico y que entregaran el servicio de energía con el nivel de tensión adecuado. La carga a utilizar en los cálculos será la carga demandada en kVA, aplicando el factor de demanda, que determina la NTC-2050 en sus secciones 220, 430-24, 430-25, 430-26 (NTC-2050, 1998).

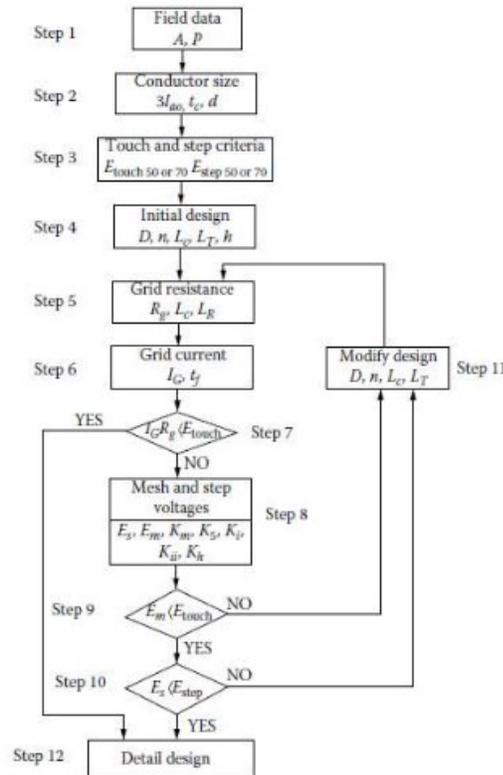
#### **i. Cálculo del SPT.**

El SPT es uno de los componentes más importantes en una instalación eléctrica, ya que tiene como objetivo limitar la tensión que presentan las masas respecto a tierra, garantizar, la vida de las personas, la seguridad en las instalaciones y la coincidencia electromagnética (Casas Ospina, 2005).

La norma IEEE80, como lo muestra la Figura 1-8, establece los pasos a seguir y el modelamiento matemático, para el diseño de un sistema de puesta a tierra, teniendo en cuenta aspectos como: datos de campo (valores de resistividad y área del terreno), la corriente de diseño, los electrodos, el área del conductor. Los resultados deben arrojar valores de tensiones de paso y contacto menores a las soportadas por el cuerpo humano (Casas Ospina, 2005).

En la actualidad existen software como **ASPIX**, que permite simplificar el modelamiento matemático y entrega resultados en muy corto tiempo, por lo que se usa con frecuencia en este tipo de diseños.

**Figura 1- 8:** Pasos para el diseño de un SPT basado en la IEEE80.



**Fuente:** (IEEE Standards, 2000).

**j. Selección de conductores, analizando las pérdidas y costos de la energía, que permitan establecer su menor costo.**

Para instalaciones de consumo en baja tensión el dimensionamiento técnico del conductor eléctrico es aquel que aplica los requisitos de la norma **NCh Elec.4/2003**. Los requisitos de la norma consideran lo siguiente:

- Sección del conductor mínima.
- Capacidad de corriente de conductor seleccionado.
- Caída de tensión en el circuito.
- El tipo de protección contra sobrecarga de conductor
- El tipo de protección contra cortocircuito del conductor.

Las pérdidas de energía  $E$  en el conductor estas dadas por la Ecuación 5:

$$E = \rho * \frac{l}{S} * (I_{max})^2 * \Delta t \quad [5]$$

Donde,  $\rho$  es la resistividad del conductor,  $l$  es la longitud del conductor y  $S$  es la sección transversal del conductor.

El costo operativo  $CJ$  depende las pérdidas  $E$  y el costo de la energía  $\$/kWh$ , y lo define la ecuación 6.

$$CJ = E * \$/kWh \quad [6]$$

Según la **NCh Elec.4/2003** las resistividades de los materiales a 20°C son: para el cobre  $18.35 \times 10^{-9} \Omega m$ , y para el aluminio  $30.3 \times 10^{-9} \Omega m$ .

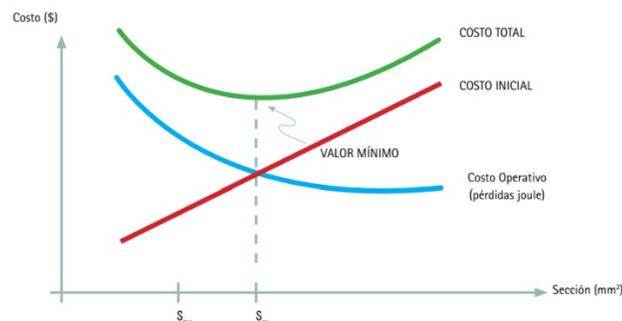
Para hallar el valor total  $CT$  de uso durante la vida útil del conductor se usa la Ecuación 7:

$$CT = CI + CJ \quad [7]$$

Donde,  $CI$  es el costo instalación en pesos del cable, teniendo en cuenta la distancia de éste,  $CJ$  es el costo de operación en pesos en la fecha en que el cable fue comprado, esto quiere decir que es el valor presente de las pérdidas Joule durante su vida útil de  $N$  cantidad de años (Procobre, 2003).

La Figura 1-9, muestra las curvas de cada uno de los costos operativo y costo inicial de instalación con respecto a la sección del conductor (Procobre, 2003).

**Figura 1- 9:** Costo inicial y costo operativo de los cables en función de la sección nominal.



**Fuente:** (International Copper & Procobre, 2001).

#### k. Verificación de cumplimiento para conductores seleccionados.

Para la protección contra cortocircuito se debe verificar la temperatura máxima a la que puede ser expuesto el conductor durante un tiempo específico antes de perder sus propiedades y que debe cumplir con el tiempo de desconexión del interruptor y la corriente

de cortocircuito máxima, garantizando que el conductor no sufra deterioro alguno (IEC 60909, 2001).

La verificación de conductores que establece la IEC 60909 de acuerdo a la Ecuación 8:

$$I_{CC} = A * K * \sqrt{\left(\frac{\log \frac{T_2 + \lambda}{T_1 + \lambda}}{t}\right)} \quad [8]$$

Donde:  $I_{CC}$  es la corriente de cortocircuito máxima permisible en el conductor de acuerdo al cable y al tiempo de disparo de la protección,  $A$  es el área del conductor en  $mm^2$ ,  $K$  toma un valor para el cobre de 341 y para el aluminio de 224,  $\lambda$  es una temperatura de resistencia cero la cual es para cobre de 234 y para el aluminio de 228,  $t$  es el tiempo de duración del cortocircuito en segundos,  $T_1$  es la máxima temperatura de operación del cable teniendo en cuenta el tipo de aislamiento [para XHHW-2 = 90°] y  $T_2$  es la máxima temperatura permisible en estado de falla.

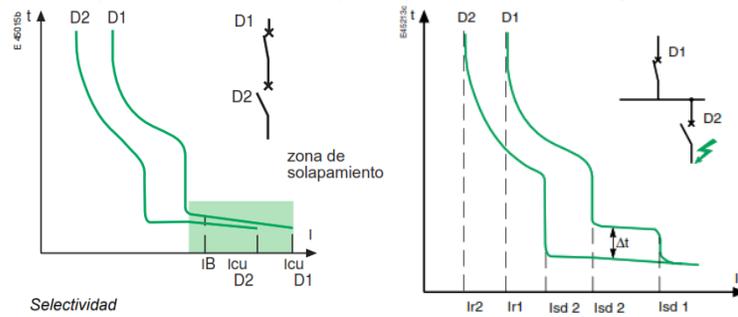
#### **I. Selección de elementos para sujeción y estructuras de acuerdo a los esfuerzos que van a ser sometidos.**

Este cálculo se realiza con el fin de verificar que cada uno de los materiales empleados en el diseño, el montaje de la estructura y su forma constructiva garanticen que se cumple con los esfuerzos mecánicos que pueda llegar a someterse, este punto aplica principalmente para infraestructuras eléctricas aéreas y se calcula solo cuando es necesario y requerido por la empresa prestadora del servicio (RETIE, 2013).

#### **m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes.**

El estudio de coordinación de protecciones se realiza con el fin de garantizar que las protecciones seleccionadas dentro del proyecto, cumplan con características de selectividad y secuencia de disparo en cortocircuito y sobrecarga, teniendo en cuenta las curvas de disparo como lo muestra la Figura 1-10, en la que se evidencia que las curvas de las protecciones D1 y D2 tienen un espacio visible, el cual garantiza, que frente a una eventual falla por cortocircuito siempre se dispare D2 y garantiza a continuidad en el servicio (Schneider Electric, 2014).

**Figura 1- 10:** Curvas y secuencia de disparo por cortocircuito y sobrecarga.



**Fuente:** (Schneider Electric, 2014).

Para garantizar una selectividad amperimétrica se realiza un ajuste en el tiempo de disparo de la protección D1, el ajuste por sobrecarga se realiza con  $I_{r2}$  e  $I_{r1}$ , las cuales varían en función de la corriente nominal  $I_n$  de cada protección (Schneider Electric, 2014).

Para aplicaciones de protección a motores se debe asegurar aislamiento, control, protección contra sobrecargas, protección contra cortocircuitos y protecciones complementarias como lo muestra la Figura 1-11. Existen distintos equipos de protección contra sobrecargas, como lo son VDFs, Unidades de Control Universales; las protecciones contra cortocircuitos generalmente son únicamente magnéticas con ajustes de hasta 12 veces la corriente nominal.

**Figura 1- 11:** Equipos de protección para motores.



**Fuente:** (Schneider Electric, 2014).

**n. Selección de canalizaciones teniendo en cuenta las áreas de llenado.**

En esta sección se realiza el cálculo y selección de cada una de las canalizaciones y ductos (diámetros de tuberías, dimensiones de bandejas y cárcamos) para el cableado eléctrico, las cuales deben garantizar el cumplimiento a los porcentajes de llenado permitidos en la NTC-2050. La Tabla 1-3 muestra los porcentajes y cantidad de hilos dentro de tuberías y la Tabla 1-4 muestra el área de llenado y las condiciones a tener en cuenta de acuerdo al calibre del cable instalado en canalizaciones tipo bandeja (NTC-2050, 1998).

**Tabla 1-3:** Dimensiones y porcentaje de la sección de los tubos y tuberías.

Tamaño comercial		Tuberías eléctricas metálicas EMT				
Pulgadas	mm	Diámetro interior mm	Sección total 100% mm <sup>2</sup>	Dos hilos 31% mm <sup>2</sup>	Mas de dos hilos. 40% mm <sup>2</sup>	Un hilo, 53% mm <sup>2</sup>
½	16	15.80	196.1	60.85	78.71	103.87
¾	21	20.93	343.9	106.45	137.42	182.58
1	27	26.64	557.4	172.90	223.23	296.48
1 ¼	35	35.05	965.2	299.35	385.81	511.61
1 ½	41	40.89	1313.2	407.1	525.16	696.13
2	53	52.50	2165.2	670.97	865.80	1147.09
2 ½	63	69.37	3779.3	1171.61	1511.61	2008.22
3	78	85.24	5707.1	1123.87	2282.58	3024.51
3 ½	91	97.38	7448.4	2309.03	2979.35	3947.73
4	104	110.08	9518.0	1014.84	3807.09	5044.51

Fuente: (NTC-2050, 1998).

**Tabla 1-4** Área de llenado permitidas en bandejas para tensiones con valores menores a 2000 V

Anchura interior de la bandeja en cm	Área de llenado máxima permisible en cm <sup>2</sup> para cables multiconductores			
	Bandejas portacables tipo escalera o batea ventilada, Artículo 318-9.a)		Bandejas portacables tipo fondo sólido, Artículo 318-9.C)	
	Columna 1 Aplicable sólo al Artículo 318-9.a).2)	Columna 2* Aplicable sólo al Artículo 318-9.a).3i	Columna 3 Aplicable sólo al Artículo 318-9.c).2)	Columna 4* Aplicable sólo al Artículo 318-9.c).3)
15	45	45-(1,2 Sd)**	35	35-SD**
23	68	68 (1,2Sd)	52	52-Sd
30	90	90-(1,2Sd)	71	71-Sd
45	135	135-{1,2 Sd}	106	106-Sd
60	180	180 -{1,2 Sd}	142	142-Sd
75	225	225-(1,2 Sd)	177	177-Sd
90	270	270 -{1,2 Sd}	213	213-Sd

Fuente: (NTC-2050, 1998).

Adicionalmente se debe cumplir que el máximo porcentaje de llenado de las bandejas porta cables no debe superar el 50% de su área disponible total, tal y como lo establece el RETIE (RETIE, 2013).

### o. Pérdidas de energía.

Las pérdidas de energía se calculan teniendo en cuenta la resistividad propia de los conductores dentro de una instalación y la potencia aparente que se relaciona con el factor de potencia como se evidencia en la Figura 1-1 (Gaviria, 2016).

Las pérdidas de energía  $P_p$  en un sistema trifásico, están determinadas por la Ecuación 9:

$$\%P_{P_{trifasico}} = \frac{S * l * R_{CA}}{V^2 * fp} * 100 \quad [9]$$

Donde,  $S$  es la potencia aparente en  $kVA$ ,  $l$  es la longitud del circuito,  $R_{CA}$  es la resistencia en corriente alterna, que define la Tabla 9 de la NTC-2050 para cables de cobre o aluminio,  $V$  es la tensión del sistema y  $fp$  es el factor de potencia de la carga:

Las pérdidas de energía  $P_p$  en un sistema monofásico, están determinadas por la Ecuación 10:

$$\%P_{P_{monofasico}} = \frac{S * l * R_{CA}}{V^2 * fp} * 200 \quad [10]$$

### p. Cálculo de regulación.

La regulación es la caída de tensión, éste es un factor importante dentro de una instalación eléctrica y depende de la distancia del circuito o acometida, la corriente que circula en un momento determinado, la resistencia equivalente del conductor y la tensión de la red.

El porcentaje de regulación para un sistema trifásico lo define la Ecuación 11:

$$\%Regulación_{trifasico} = \frac{\sqrt{3} * R_{EQ} * I * l}{10 * V} \quad [11]$$

Donde,  $I$  es la corriente que circula por el circuito que se define en la Ecuación 4,  $l$  es la longitud de la acometida en metros y  $R_{EQ}$  es la regulación equivalente del conductor seleccionado que está definida por la Ecuación 12.

$$R_{EQ} = R_{CA} * fp + X_L * \text{sen}\theta \quad [12]$$

Donde,  $R_{CA}$  es la resistencia que define la Tabla 9 de la NTC-2050 para cables de cobre o aluminio,  $fp$  es el factor de potencia,  $X_L$  es la reactancia definida en la Tabla 9 de la NTC-2050 y  $\text{sen}\theta$  es la relación entre la potencia reactiva y la potencia aparente de la carga.

El porcentaje de regulación para un sistema monofásico lo define la Ecuación 13:

$$\%Regulación_{monofasico} = \frac{2 * R_{EQ} * I * l}{10 * V} \quad [13]$$

#### q. Clasificación de áreas dentro de la instalación.

El NEC en sus artículos 500 al 504 define 3 clases de áreas, las cuales están asociadas a las sustancias que están en el medio ambiente como sigue:

- Clase I: Gases, vapores y líquidos inflamables.
- Clase II: Polvos combustibles.
- Clase III: Fibras y partículas combustibles.

Por otra parte, están las divisiones, que se dividen en dos, estas tienen que ver con las cantidades de partículas expuestas en las clases I, II y III y que de acuerdo a la cantidad pueden llegar a mezclas explosivas.

- División 1: Condiciones de Operación o de Mantenimiento normales
- División 2: Operación anormal, o lugares cercanos a División 1.

Dentro de cada clase se encuentran grupos de material más precisos y que tienen en cuenta su poder explosivo como se muestra a continuación.

- Para Clase I se dividen en 4 grupos: A (Acetileno), B (Hidrógeno), C (Etileno) y D (Propano).
- Para Clase II, únicamente en División 1, se divide en 3 grupos: E (Metales), F (Carbón) y G (granos orgánicos).
- Para la Clase III, por el tipo de material se clasifican en un único grupo.

**r. Elaboración de planos unifilares para construcción.**

Los diagramas unifilares son una parte vital de cualquier proyecto eléctrico, en ellos se muestra con claridad cada uno de los elementos que componen la instalación eléctrica, los tableros a construir, las protecciones a utilizar, así como la disposición eléctrica de dichos elementos.

**s. Edición de planos y condiciones eléctricas generales para construcción.**

Los planos y esquemas eléctricos muestran el detalle de la distribución de equipos y cableado en campo, la distribución y disposición de los tableros eléctricos, las rutas de cableado y la canalización a usar.

Los planos a presentar en un proyecto deben contener:

**Localización Geográfica:** Esta se puede buscar mediante la aplicación de Google Maps, trasladándola al plano como imagen.

**Localización General:** Es la vista en planta de la construcción arquitectónica y eléctrica, esta se puede a escala 1:100, pero podrá aumentar o disminuir según el área de construcción.

**Planta de distribución de equipos en cuartos eléctricos:** Esta muestra la ubicación de cada uno de los tableros y la canalización de llegada a éstos.

**Cortes:** Si es necesario se deben presentar cortes de tableros y rutas a utilizar que garanticen que no haya cruces con otros servicios en las áreas de intervención de las obras.

**Convenciones:** Es la forma de representar los diferentes elementos que conforman los planos, es de vital importancia incluir todas las convenciones a la normatividad eléctrica de acuerdo con cada operador de red.

**Notas:** Son especificaciones de información referente al proyecto, como el nombre, el diseñador, condiciones especiales que no pueden quedar en los planos arquitectónicos, especificaciones complementarias a la norma, entre otras.

**Resumen del proyecto:** En este se deben dejar datos como: nombre del proyecto, localización, municipio, propietario, altura sobre el nivel del mar, temperatura mínima y

máxima, coordenadas del proyecto, tipo de servicio, clasificación del uso final, demanda máxima, capacidad instalada, cantidad de usuarios, diseñador eléctrico y fecha.

**t. Otras especificaciones técnicas que requiera la instalación referentes a materiales y otros.**

Son las especificaciones de cada uno de los materiales y equipos a usar dentro del proyecto, la normatividad que deben cumplir y características mínimas aceptables, los demás complementarios que se requieran para áreas con clasificación especial. Todos los productos a usar deben contar con certificación RETIE, y/o estar homologados por normas internacionales que coincidan y apliquen para Colombia (Papelsa Papeles y Cartones, 2018).

**u. Establecer las distancias de seguridad necesarias.**

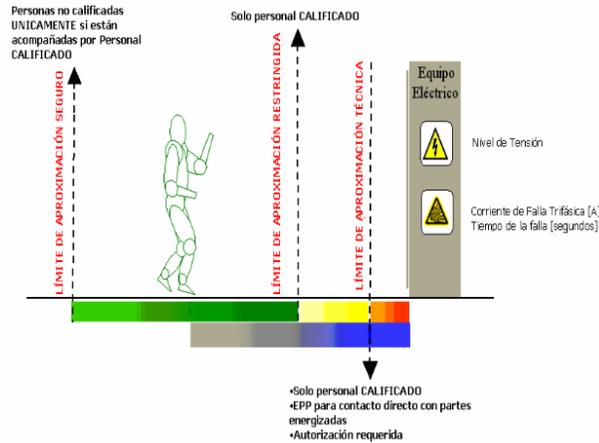
El RETIE establece distancias mínimas entre redes energizadas y construcciones, las cuales deben garantizar la seguridad de las personas, los bienes inmuebles y los animales, también se establecen distancias de seguridad mínimas para realizar trabajos en cuartos eléctricos, CCMs y subestaciones, la marcación y uso de EPPs que se debe tener en cada uno de estos lugares (RETIE, 2013).

La Tabla 1-5 y la Figura 1-12 muestran los límites de aproximación a partes energizadas de equipos de acuerdo a la NFPA 70E (RETIE, 2013).

**Tabla 1-5:** Límites de aproximación a partes energizadas de equipos.

Tensión nominal del sistema (fase - fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Límite 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

**Fuente:** (RETIE, 2013).

**Figura 1- 12:** Límites de aproximación y trabajo en cuartos técnicos.

Fuente: (RETIE, 2013, pág. fig 9).

**v. Determinación de algún tipo de desviación técnica NTC 2050 siempre que sea permitido y garantizando la seguridad de la instalación y las personas.**

En los casos más típicos se realiza desviación a la norma técnica colombiana por que se realizan ajustes a otras normas con las cuales se tiene coincidencia, pero hay cambios en algún tipo de aspecto. Un ejemplo de este es ajustarse a una norma europea que tiene coincidencia con norma americana, pero hay algunos cambios es aspectos técnicos.

**w. Otros estudios que requiera la instalación.**

Estudios adicionales que requiera el proyecto para garantizar la seguridad de las personas y de la instalación.

## 2. DESARROLLO METODOLÓGICO.

En este capítulo se muestran el desarrollo de las memorias de cálculo realizadas para cada uno de los literales que muestra el numeral 2.1. El diagrama unifilar y cuadros de carga que son la base todos los cálculos se pueden evidenciar en el anexo V (diagrama unifilar general y cuadros de carga R1), este muestra la información detallada de la instalación y equipos dentro de la PTAR.

### 2.1.RESUMEN DEL PROYECTO.

- Nombre del Proyecto: Construcción Planta de tratamiento de aguas residuales industriales
- Localización: Transversal nordeste 999 18
- Municipio: Barbosa, Antioquia
- Propietario: Papeles y cartones S.A (Papelsa S.A)
- Altura sobre el nivel del mar: 1300 msnm
- Temperatura mínima: 18 °C
- Temperatura máxima: 32 °C
- Temperatura promedio: 22.2 °C
- Coordenadas del proyecto: 6°26'43.8"N 75°19'28.2" W
- Tipo de servicio: Industrial - Ampliación interna sin solicitud de ampliación de demanda
- Clasificación del uso final: Instalación especial – Uso Industrial con áreas clasificadas
- Demanda máxima: 222 kVA
- Capacidad instalada: 373.2 kVA
- Cantidad de usuarios: Usuario existente – Uso de reserva existente
- Diseñador eléctrico: Edilson Nicolas Almanza Quintero
- Fecha: diciembre de 2019

## 2.2. DESARROLLO DE MEMORIAS DE CALCULO.

### 2.2.1. ESTUDIO DE CARGA

#### a. Carga eléctrica requerida incluido crecimiento a futuro, incluyendo determinación de factor de potencia y la distorsión armónica en la red:

Las cargas a considerar se dividen en 2 tipos:

- Cargas a 480 V. Motores y alimentadores de tableros.
- Cargas a 215/124 V. Pequeños motores y equipos, servicios auxiliares, iluminación y sistema regulado.

El área de ingeniería civil y mecánica de Prodeing suministra el listado de equipos, Tag, Componente, tipo de arranque requerido, tensión de funcionamiento, carga en HP y ubicación dentro de la PTAR. Con los datos anteriores los cuales se relacionan en las Tablas 2-1, 2-2 y 2-3.

La Tabla 2-1 muestra el componente, el tipo de arranque, la capacidad de carga en HP y kVA, el factor de potencia y el tipo de carga (3 para cargas trifásicas, 2 para cargas bifásicas o monofásicas), para equipos a 480 V ubicados en el CCM principal, la cual es el resultado del estudio de carga.

Todas las bombas que cuentan con arranque por VDF, cuenta con una de respaldo. En general solo se tendrá en funcionamiento una a la vez.

**Tabla 2- 1:** Análisis de cargas iniciales y futuras en equipos y tableros a 480 V en CCM principal.

Tablero CCM Cuarto Eléctrico – 480 V - PBR11										
Carga No.	Tag	Componente	Tipo Arranque	Tipo Carga	Voltaje [V]	Carga [HP]	Carga [kW]	FP	Carga [kVA]	Tipo de carga
1	A08.S.01	Soplador de aire	VDF	LL	480	60	44,8	0,95	47,12	3
2	A08.S.02	Soplador de aire	VDF	LL	480	60	44,8	0,95	47,12	3
3	A08.S.01.A1	Tab. auxiliar soplador aire	Alimentador	LL	480	10	7,5	0,95	7,85	3
4	A08.S.02.A1	Tab. auxiliar soplador aire	Alimentador	LL	480	10	7,5	0,95	7,85	3
5	PBR11C55	Tablero bombeo inicial - 480V	Alimentador	LL	480	21,4	19,7	0,93	21,1	3
6	A02.P.01	Bomba de mezcla	VDF	LL	480	15	11,2	0,95	11,78	3
7	A02.P.02	Bomba de mezcla	VDF	LL	480	15	11,2	0,95	11,78	3
8	A06.P.01	Bomba alimentación IC	VDF	LL	480	20	14,9	0,95	15,71	3
9	A06.P.02	Bomba alimentación IC	VDF	LL	480	20	14,9	0,95	15,71	3
10	A08.P.01	Bomba de reinyección aerobio	VDF	LL	480	40	29,8	0,95	31,41	3

11	A08.P.02	Bomba de reinyección aerobio	VDF	LL	480	40	29,8	0,95	31,41	3
12	A11.P.01	Bomba de recirculación de lodos a aerobio	VDF	LL	480	7,5	5,6	0,95	5,89	3
13	A11.P.02	Bomba de recirculación de lodos a aerobio	VDF	LL	480	7,5	5,6	0,95	5,89	3
14	A07.S.01A	Thiopaq - motor blower	Directo	LL	480	4	3,0	0,86	3,47	3
15	A07.S.01B	Thiopaq - bomba centrifuga iwaki	Directo	LL	480	2	1,49	0,86	1,73	3
16	A10.P.01	Bomba de entrega de agua tratada	VDF	LL	480	3	2,2	0,95	2,36	3
17	A10.P.02	Bomba de entrega de agua tratada	VDF	LL	480	3	2,2	0,95	2,36	3
18	A12.P.01	Bomba de lodos a deshidratador	VDF	LL	480	3	2,2	0,95	2,36	3
19	A12.P.02	Bomba de lodos a deshidratador	VDF	LL	480	3	2,2	0,95	2,36	3
20	A12.SB.01	Deshidratador de lodos tornillo	Alimentador	LL	480	11	8,2	0,9	9,12	3
21	A12.A.01	Unidad de preparación de polímero	Alimentador	LL	480	3	2,2	0,9	2,49	3
22	A04.A.01	Agitador de preparación de nitrógeno	Directo	LL	480	4	3,0	0,86	3,47	3
24	A09.B.01	puente barredor de lodos	VDF	LL	480	2	1,5	0,95	1,57	3
25	A12.P.03	Bomba de polímero	VDF	LL	480	2	1,5	0,95	1,57	3
26	A12.P.04	Bomba de polímero	VDF	LL	480	2	1,5	0,95	1,57	3
27	A12.X.01	Equipo hidroneumático deshidratador	Alimentador	LL	480	1	0,7	0,86	0,87	3
28	T-LODOS	Tolva de lodos	Directo - reversible	LL	480	1,5	1,1	0,86	1,30	3
29	TRPRO-01 - PBR11C54	Trafo 3F - 480/215/124 V - Proceso 215V	Alimentador	LL	480	4,9	3,6	0,90	4,04	3
30	TRSA-01 - PBR11AUX	Trafo 3F - 480/215/124 V - Serv auxiliares PTAR	Alimentador	LL	480	32	42,0	0,93	45,16	3
31	TRAR-01 - PBR11AUX CCM	TRAFO 3F - 480/215 - 124 V -Ser aux CCM	Alimentador	LL	480	6,70	5,0	0,95	5,26	3
40	DPS1	DPS	N/A							
41	CCM1-PBR11	Tablero Principal PTAR - CCM	Alimentador	LL	480	244	207,8	0,93	221,6	3

Fuente: (Autor).

La Tabla 2-2 muestra el componente, el tipo de arranque, la capacidad de carga en HP y kVA, el factor de potencia y el tipo de carga (3 para cargas trifásicas, 2 para cargas bifásicas o monofásicas), para equipos a 480 V ubicados en el CCM del área de bombeo inicial.

**Tabla 2- 2:** Análisis de cargas iniciales y futuras en equipos y tableros a 480 V en CCM Bombeo inicial.

Tablero CCM Bombeo Inicial – 480 V - PBR11C55										
Carga No.	Tag	Componente	Tipo arranque	Tipo carga	Voltaje [V]	Carga [HP]	Carga [kW]	FP	Carga [kVA]	Tipo de carga
1	A01.P01	Bomba de agua cruda	VDF	LL	480	20	14,92	0,95	15,71	3
2	A01.P02	Bomba de agua cruda	VDF	LL	480	20	14,92	0,95	15,71	3
3	TRAR-02	Transformador ilumin - tomas servicios	Alimentador	LL	480	1,4	1,0444	0,9	1,16	3
4		DPS	N/A		480					
5	CCM2-TG2	Tablero bombeo inicial - 480V	Alimentador	LL	480	21,4	19,69	0,93	21,1	3

Fuente: (Autor).

La Tabla 2-3 muestra el componente, el tipo de arranque, la capacidad de carga en HP y kVA, el factor de potencia y el tipo de carga (3 para cargas trifásicas, 2 para cargas bifásicas o monofásicas), para equipos de proceso a 124 V ubicados en el CCM principal.

**Tabla 2- 3:** Análisis de cargas iniciales y futuras en equipos de proceso a 124 V.

Tablero proceso – 220 V - TRPRO-01 - PBR11C54										
Carga No.	TAG	Componente	Tipo arranque	Tipo carga	Voltaje [V]	Carga [HP]	Carga [kW]	FP	Carga [kVA]	Tipo de carga
1	A02.QM.01	Muestreador automático entrada	Alimentador	NL	124	0,33	0,25	0,95	0,26	1
2	A03.P.01	Bomba dosificadora de soda	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
3	A03.P.02	Bomba dosificadora de soda	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
4	A04.P.01	Bomba dosificadora de urea	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
5	A04.P.02	Bomba dosificadora de urea	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
6	A05.P.01	Bomba dosificadora de ácido fosfórico	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
7	A05.P.02	bomba dosificadora de ácido fosfórico	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
8	A07.S.01C	Thiopaq - bomba de químicos	Directo	NL	124	0,17	0,13	0,87	0,15	1
9	A10.QM.01	Muestreador automático salida	Alimentador	NL	124	0,33	0,25	0,95	0,26	1
10	A07.QT.01	Antorcha	Alimentador	NL	124	1	0,75	0,95	0,79	1
11	A07.S.01D	Thiopaq - bomba dosificadora de nutrientes	Directo	NL	124	0,5	0,37	0,87	0,43	1
12	A12.SB.01.A1	Tablero PLC deshidratador de lodos	Alimentador	NL	124	1,5	1,12	0,95	1,18	1
13		DPS								
14	TGP-215V	Tablero proceso - 220V	Alimentador	LL	220	4,9	3,6	0,90	4,04	3

**Fuente:** (Autor).

El análisis de armónicos determina que la instalación esté dentro de los rangos tolerables de acuerdo a la IEC 61000-2-4, en el **anexo XVI** (análisis de armónicos), se puede evidenciar el estudio realizado en el software **ETAP 16.0**.

#### **b. Coordinación de aislamiento eléctrico por sobretensiones.**

Para la selección de los DPS a usar en este proyecto se basa en la norma IEC 61643-11, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los CCM a 480 V se consideran cuadros de distribución los cuales están dentro del tipo 2 o ensayo clase II y la zona de protección es LPZ2 de acuerdo al diseño del sistema de apantallamiento descrito en el literal **d**, del numeral 2.1.2, lo anterior considera un nivel de riesgo medio en su clasificación.

- El CCM a 215 V se considera subtablero y está dentro del tipo 2 o ensayo clase II y la zona de protección es LPZ2 de acuerdo al diseño del sistema de apantallamiento descrito en el literal **d**, del numeral 2.1.2, lo anterior considera un nivel de riesgo bajo en su clasificación.
- Para determinar la tensión máxima de funcionamiento  $U_C$  se aplica la Ecuación 14.

$$U_C = U_{LT} * 1,1 \quad [14]$$

Donde,  $U_{LT}$  es la tensión línea – tierra de alimentación.

- La selección de la corriente nominal de descarga tiene en cuenta dos aspectos: el primero es la corriente de cortocircuito de falla a tierra en el tablero donde se va a instalar el equipo, y el segundo la corriente de pico del nivel de riesgo del sistema de protección contra rayos.
- La selección de la tensión residual  $U_P$  entre los bornes, se aplica lo descrito en el numeral 1.2.3, literal **b**.

La Tabla 2-4 Muestra el resumen de los DPS seleccionados para el proyecto.

**Tabla 2- 4:** Selección de DPS.

Tablero proyectado		Tensión	Clasificación	Riesgo	DPS seleccionado
PBR11 CCM principal		480 V	Cuadro de distribución	Medio	$U_c \geq 1.1 * 277.1 = 304.8 \text{ V}$ $I_n = 20 \text{ kA}$ (Onda 8/20 us) $U_p = 1.5 \text{ kV}$ Clase II
	PBR11C55 Tablero Bombeo inicial	480 V	Cuadro de distribución	Medio	$U_c \geq 1.1 * 277.1 = 304.8 \text{ V}$ $I_n = 20 \text{ kA}$ (Onda 8/20 us) $U_p = 1.5 \text{ kV}$ Clase II
	PBR11C54 Tablero Bombas Proceso	215 V	Sub-Tablero	Bajo	$U_c \geq 1.1 * 124 = 136.4 \text{ V}$ $I_n = 20 \text{ kA}$ (Onda 8/20 us) $U_p = 0.85 \text{ kV}$ Clase II

**Fuente:** (Autor).

### c. Cálculo del valor de cortocircuito línea – línea y línea – tierra.

Para realizar el estudio de cortocircuito y falla a tierra se toma como referencia la corriente de cortocircuito del punto de conexión del alimentador, la cual es de 46 kA de acuerdo a los datos entregados por Papelsa.

Con este valor y mediante la herramienta **ETAP 16.0**, se realiza la simulación del sistema diseñado que arroja los datos relacionados en la Tabla 2-5.

**Tabla 2- 5:** Análisis de cortocircuito línea – línea y línea – tierra para tableros nuevos.

Nombre del tablero	Corriente de cortocircuito L-G [kA]	Corriente de cortocircuito 3F [kA]
Tablero principal PTAR - CCM	14,866	21,553
Tablero bombeo inicial - 480V	1.452	2,413
Tablero bombas de proceso	0.302	0,303

Fuente: (Autor).

El estudio de cortocircuito en 3 fases y falla a tierra se puede evidenciar en los **anexos XIV** (Estudio de cortocircuito L-G) y **XV** (Estudio de cortocircuito 3F).

### 2.2.2. DISEÑO DE SISTEMA DE APANTALLAMIENTO PTAR

#### d. Estudio de nivel de riesgo por descargas atmosféricas y sus medidas de protección.

Para la determinación del índice de riesgo se usa la herramienta **IEC RISK**, la cual se basa en los cálculos de la IEC 62305-2, donde se puede evidenciar el procedimiento a seguir.

La Figura 2-1 muestra los datos ingresados para la simulación y la Figura 2-2 muestra el resultado del análisis.

**Figura 2- 1:** Datos usados para la determinación del índice de riesgo.

**Cálculo del índice de riesgo**

Edificio número: 1 de 1

Nombre del edificio: PTAR PAPELSA

Ed.	Nombre del edificio	Largo	Ancho	Alto	PDC-Malla
1	PTAR PAPELSA	77,00	39,00	26,00	P

**DIMENSIONES**

Empresa: Longitud (L) 77,00 m, Anchura (W) 39,00 m, Altura tejado (H) 26,00 m, Altura prominencia (Hp) 26,00 m, Superficie exposición (Ad) 38.652,00 m<sup>2</sup> (Fijada manualmente)

**CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA**

Ubicación de edificios: Tipo de cubierta (A. Metálica), Tipo de estructura (A. Metálica), Riesgo de incendio (B. Común), Protección de pararrayos (Tipo de cableado interno: B. Apantallado)

**INFLUENCIAS AMBIENTALES**

Protección externa: Situación (B. Altura similar), Factor ambiental (D. Rural), Memoria (Días de tormenta: 10 Días / año, Densidad anual impactos: 1,00 Impactos / km<sup>2</sup>), Solicite presupuesto (Tipo de terreno: A. Limo, arcilla, arena semidensa)

**PÉRDIDAS**

**Tipo 1. Pérdidas de vidas humanas**  
 Por incendios: C. Ocupadas reglamentariamente  
 Por riesgo de pánico: B. Bajo (menos de 100 persc)  
 Consecuencia de los daños: C. Contaminación medioamb  
 Por sobretensiones: D. Potencialmente explosivo

**Tipo 2. Pérdidas de servicios esenciales**  
 Pérdida de servicios: A. No aplica

**Tipo 3. Pérdidas de patrimonio cultural**  
 Pérdida de patrimonio: A. No aplica

**Tipo 4. Pérdidas económicas**  
 Riesgos especiales: C. Contaminación medioamb  
 Por incendios: B. Valor alto  
 Por sobretensiones: E. Potencialmente explosivo  
 Por tensión paso/contacto: A. Sin riesgo de shock  
 Riesgo tolerable de pérdidas: C. 1 en 1.000 años

**LINEAS DE SERVICIOS**

**Suministro eléctrico**  
 Situación del cable: A. Aéreo  
 Tipo de cable: B. No apantallado  
 Transformador MT/BT: B. Sin transformador

**Otros servicios aéreos**  
 Número de servicios: 1  
 Tipo de cable: B. No apantallado

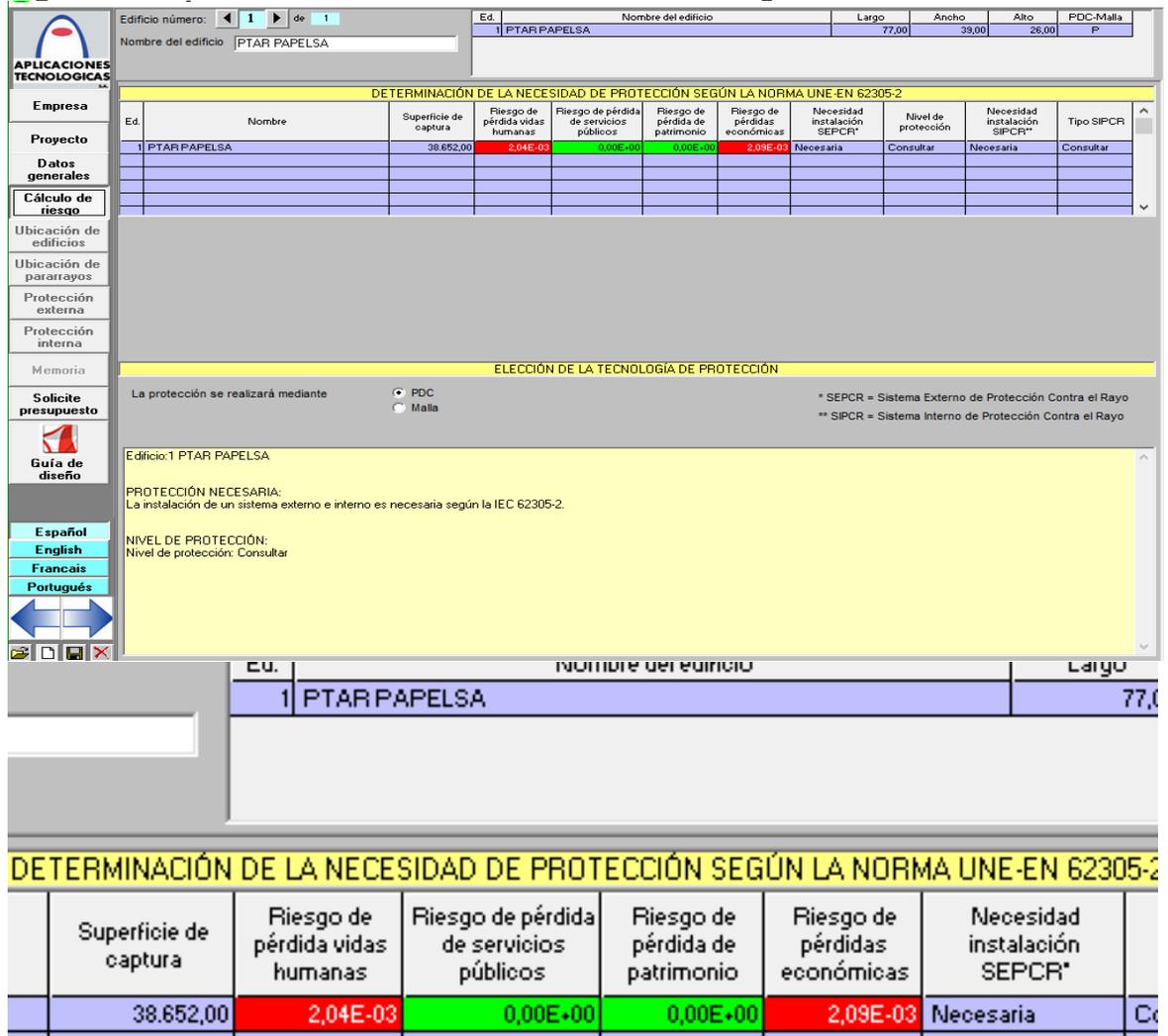
**Otros servicios enterrados**  
 Número de servicios: 0  
 Tipo de cable: B. No apantallado

**MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES**  
 Clase SPCR: A. Nivel I.  
 Protección sobretensiones: C. Coord. según IEC62305-4

**Eficacia del SPCR en la estructura - E.**  
 Clase de SPCR según IEC:  
 - Nivel I. (E=0,02)  
 - Nivel II. (E=0,05)  
 - Nivel III. (E=0,2)  
 - Nivel IV. (E=0)  
 - Sin protección. (E=0)

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 2:** Resultados de la evaluación del índice de riesgo.



Fuente: (Autor).

De acuerdo con los parámetros computados en el el programa IEC Risk Assessment Calculator, basado en la Norma EC 62305-2 y las condiciones propias del área se concluye que **SI** se requiere la implementación de un **sistema integral de protección contra rayos SIPRA**, como lo muestra la Figura 2-2.

El análisis realizado con base en la NCT-4552-2, da como resultado el requerimiento de apantallamiento con una clase tipo I debido a que el analisis de areas clasificadas determina una atmosfera explosiva en la parte superior del reactor IC (ver literal **q** clasificacion de areas), igualmente se requiere la implementación del sistema de protección contra sobretensiones DPS, el cual está dirigido a la protección de los equipos ante perturbaciones que ingresen al sistema por la alimentación eléctrica.

De la misma forma una consideración importante es realizar las conexiones equipotenciales del sistema de protección, es decir que todas las partes metálicas deben garantizar continuidad eléctrica entre si para evitar diferencias de potencial que puedan afectar a las personas y/o equipos.

Con base en el método electro geométrico y las condiciones físicas del **Proyecto Construcción Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial**; tenemos los siguientes datos de entrada para el cálculo de las áreas protegidas:

**$I_p = 17 \text{ kA}$**

**$R_{sc} = 35 \text{ m}$** . Radio de la esfera rodante según NTC 4552.

Se tomarán como estructuras de referencia para el diseño, la estructura que contiene el cuarto eléctrico, el tanque del reactor IC y los postes del sistema de iluminación:

La Tabla 2-6 muestra la ubicación propuesta para la aplicación del método de la esfera rodante en el plano arquitectónico 3D.

**Tabla 2- 6:** Ubicación de puntas captoras para aplicación del método de la esfera rodante.

Punta No.	Altura total de la punta HT [m]	Ubicación
1, 2, 3 Y 4	17	4 puntas instaladas estructura superior del cuarto eléctrico de la PTAR
5, 6 Y 7	29	3 puntas ubicadas en estructura superior de reactor IC
8, 9, 10 Y 11	7,9	4 puntas ubicadas en postes colindantes con la vía

**Fuente:** (Autor)

Con las alturas de las puntas captadoras planteadas en el diseño se logra la protección integral de todas las estructuras dentro del área de la PTAR; el modelamiento de la esfera rodante se puede evidenciar en los **anexos II** (apantallamiento esferas rodantes 3D R1), **III** (apantallamiento vista lateral 1), **IV** (apantallamiento vista latera 2) y **XI** (apantallamiento y SPT unificado R1) y el diseño del SPT para el SIPRA se puede evidenciar el en literal **i**, de este documento.

#### **e. Riesgos de naturaleza eléctrica y medidas de corrección.**

Se realiza el análisis de acuerdo con la matriz de riesgo de la Figura 2 del RETIE y teniendo en cuenta los factores de riesgos más comunes de la Tabla 7 del RETIE. Los resultados del análisis y las medidas de protección a tomar se pueden evidenciar en la Tabla 2-7.

**Tabla 2- 7:** Análisis de riesgo PTAR Papelsa y medidas de corrección en el proyecto.

Análisis de riesgos eléctricos implementar medidas de protección				Medidas de protección
Factor de riesgo	Matriz de riesgo			
	Gravedad	Frecuencia	Nivel de riesgo	
Arcos eléctricos	Moderada	Ocasional	Medio	Se respetan distancias de seguridad, se especificaron equipos de fácil reparación, distancias de seguridad y aproximación técnica, uso de EPPs de materiales resistentes a arco eléctrico para todas las actividades que impliquen trabajos con tensión.
Ausencia de electricidad	Moderada	Ocasional	Medio	Transferencia automática, respaldo de planta eléctrica, iluminación de emergencia.
Contacto directo	Moderada	Ocasional	Bajo	Barrajes de acuerdo con la norma con aislamiento de partes activas, puesta a tierra, mantenimiento solamente personal técnico capacitado.
Contacto indirecto	Moderada	Remoto	Bajo	Se respetaron distancias de seguridad, se cuenta con conexiones equipotenciales, sistema de puesta a tierra y se recomienda mantenimiento correctivo y preventivo.
Cortocircuito	Moderada	Ocasional	Medio	Se cuenta con protecciones con dispositivo de disparo de máxima corriente. Tableros principales resistentes al arco eléctrico.
Electricidad estática	Baja	Remoto	Bajo	Se cuenta con conexiones equipotenciales, sistema de puesta a tierra. Estructuras metálicas aterrizadas.
Equipo defectuoso	Alta	Ocasional	Medio	Diseño cumpliendo con las normas técnicas, puesta a tierra, mantenimiento solamente personal técnico capacitado. Mantenimiento preventivo.
Rayos	Alta	Ocasional	Alto	Análisis de riesgo SIPRA, se instala sistema de protección externo tipo apantallamiento nivel I, un sistema de protección interno compuesto por DPS clase II, equipotencialización de todas las estructuras metálicas y un sistema de puesta a tierra.
Sobrecarga	Moderada	Remoto	Bajo	Se cuenta con protecciones con dispositivo de disparo de máxima corriente. Dimensionamiento de conductores y equipos de acuerdo con la norma.
Tensión de contacto	Alta	Improbable	Bajo	Se cuenta con puesta a tierra de baja resistencia, accesos restringidos, piso técnico de alta resistividad y sistema eléctrico equipotencializado.
Tensión de paso	Moderada	Improbable	Bajo	Se cuenta con puesta a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, cumple tensiones de paso y contacto sistema eléctrico equipotencializado.

**Fuente:** (Autor).

#### f. Nivel tensión requerido necesario.

En baja tensión se empleará la tensión de 480 V existente en la planta como red de distribución interna. Para llevar energía a algunos equipos finales pequeños, se realizará la conversión 480/215-124 V. Los principales equipos de mayor consumo funcionaran a la tensión de 480 V (470 V bajo carga). De acuerdo con los análisis realizados en el software de simulación **ETAP** 16.0 sobre el flujo de carga en el que se verifica que la caída de tensión no supere el 3% para acometidas y el 5% para circuitos ramales.

Ver detalle en **anexos XII y XIII** (Análisis de flujo de carga).

### g. Cálculo de campos eléctricos y magnéticos.

Para este proyecto de construcción de una PTAR no aplica este análisis, ya que no se emplearán acometidas eléctricas de más de 1000A o altas tensiones (mayor a 57.5KV) a menos de 30cm de lugares de trabajo.

### h. Selección y cálculo de transformadores.

Para el CCM de las bombas de proceso se usará un transformador trifásico 480/215-124 V de 5 kVA, para equipos de proceso que alimentará los siguientes tipos de cargas: Pequeños motores (bombas dosificadoras, muestreadores automáticos), principalmente cargas no lineales, los datos de éste se muestran en la Tabla 2-8.

**Tabla 2- 8:** Datos de transformador 5 kVA bombas de proceso.

Carga instalada kW	FP	Pot Trafo kVA	Z %	Corriente [A] en el primario 480V	Protección en el primario	Corriente [A] en el secundario 215V	Protección en el secundario	Tensión en vacío	Tensión bajo carga
4,32	0,9	5	4	6	3X10A	16	3X20A	480V 215V 124V	473V 212V 122V

Fuente: (Autor).

## 2.2.3. DISEÑO DE SPT PTAR

### i. Cálculo del SPT.

Las mediciones de resistividad se muestran en las Figuras 2-3 y 2-4, las cuales fueron tomadas y entregadas por INGETESA S.A.

**Figura 2- 3:** Mediciones de resistividad para el área de bombeo inicial.

RESULTADOS MEDIDA RESISTIVIDAD								PROM	DESV EST.
Ruta 1	Profundidad (m)	1	2	4	6	8	10	149.93	31.2
	R (Ohm*m)	139.7	166.2	136.7	99.7	170.2	187.1		
<b>TOTAL</b>								<b>149.93</b>	<b>31.2</b>
<b>RESISTIVIDAD CON EL 70 % DE PROBABILIDAD DE NO SER SUPERADA</b>									
<b>Resistividad de la capa superior</b>								p1 (Ohm*m)	135.83
<b>Espesor de la capa superior</b>								h (m)	5.02
<b>Resistividad de la capa inferior</b>								p2 (Ohm*m)	186.32

Fuente: (INGETESA S.A, 2019).

**Figura 2- 4:** Mediciones de resistividad para el área PTAR.

RESULTADOS MEDIDA RESISTIVIDAD								PROM	DESV EST.
Ruta1	Profundidad (m)	1	2	4	6	8	10	220.07	82.3
	R (Ohm*m)	94.0	141.4	243.0	270.0	282.0	290.0		
Ruta2	Profundidad (m)	1	2	4	6	8	10	237.37	48.9
	R (Ohm*m)	143.2	235.0	240.0	259.0	272.0	275.0		
<b>TOTAL</b>								<b>228.72</b>	<b>65.1</b>
<b>RESISTIVIDAD CON EL 70 % DE PROBABILIDAD DE NO SER SUPERADA</b>									
<b>Resistividad de la capa superior</b>								p1 (Ohm*m)	173.1
<b>Espesor de la capa superior</b>								h (m)	3.38
<b>Resistividad de la capa inferior</b>								p2 (Ohm*m)	434.49

**Fuente:** (INGETESA S.A, 2019).

Para el diseño del SPT del proyecto, se utilizó el software **ETAP 16.0**, con el que se realiza el cálculo de cortocircuito, puesto que trabaja con elementos finitos, y presenta la ventaja ante los métodos determinísticos, ya que analiza varios escenarios al mismo tiempo, y al hacer necesario el modelamiento de la instalación muestra otros parámetros que son útiles en otros procesos en el diseño eléctrico.

La simulación muestra una corriente de línea a tierra de 14,866 kA (ver **anexo XIV**), con un tiempo de despeje en baja tensión de 0,05s, este valor se usará para el diseño de la malla de puesta a tierra.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la malla a tierra deberá despejar cualquier falla dentro de la planta, por lo que se calculará la máxima corriente que puede llegar a circular por la malla durante una falla a 44 kV, que es la tensión de alimentación general de la planta.

El cálculo de esta corriente de diseño del SPT de la PTAR lo realiza el área de ingeniería de Papelsa, esto debido a que los datos de la subestación y la carga general de la planta de producción intervienen en dicho calculo y no hace parte del alcance de la PTAR. Los resultados se muestran en la Tabla 2-9.

**Tabla 2- 9:** Cálculo de corriente para el diseño del sistema de puesta a tierra de la PTAR entregado por Papelsa.

Red de media tensión	
Tensión	44 kV
Corriente de falla trifásica simétrica	3,81 kA
Corriente de falla monofásica simétrica	5,17 kA
Impedancias de secuencia de la red	
R1 Red	0,5094 Ohm
X1 Red	6,7095 Ohm
R0 Red	0,0359 Ohm
X0 Red	1,4210 Ohm
Cable de media tensión	

R1	0,268088	Ohm
X1	0,379224	Ohm
R0 (Típica 3 x R1)	0,489352	Ohm
X0 (Típica 3 x X1)	1,112924	Ohm
Cálculo de corriente de diseño STP		
R1 total	0,7775	Ohm
X1 total	7,0867	Ohm
R0 total	0,5213	Ohm
X0 total	2,5339	Ohm
Relación X/R secuencia positiva	9,1175	
Relación X/R secuencia cero	4,8609	
Z1	7,1312	Ohm
Z0	2,5870	Ohm
2*Z1+Z0	16,8495	Ohm
Resistencia de puesta a tierra malla	0,6514	Ohm
Resistencia de puesta a tierra operador de red	0,3000	Ohm
Impedancia total de falla	0,9514	Ohm
Corriente de falla trifásica simétrica	3,5623	kA
Corriente de falla monofásica simétrica	3,8678	kA
Factor de seguridad	1,100	
Corriente de falla total	4,2546	kA
Resistencia de puesta a tierra planta	0,7505	Ohm
Datos para SPT PTAR		
Resistencia de puesta a tierra PTAR	4,9360	Ohm
Resistencia total	0,6514	Ohm
GPR	2771,4975	V
Corriente de diseño PTAR	581,4861	A
Tiempo de despeje de la falla garantizado por EPM para el diseño de SPT	0,5000	s

**Fuente:** (Papelsa S.A).

El cálculo del sistema de puesta a tierra de la PTAR, así como las tensiones de paso y contacto, se realizó con el software **ASPIX**.

Los datos de entrada para el cálculo de área del cuarto eléctrico del CCM, se muestran en la Tabla 2-10 y los resultados se muestran en la Tabla 2-11.

**Tabla 2- 10:** Datos de diseño SPT cuarto eléctrico CCM.

Design data - Aspix	
Project name	MALLA CE
Upper layer resistivity (Ohm_m)	173.1
Lower layer resistivity (Ohm_m)	434.49
Upper layer thickness (m)	3.38
Crushed rock resistivity (Ohm_m)	5000
Thickness of crushed rock surfacing (m)	0.2
Fault duration (s)	0.5
Maximum ground fault current (A)	581.4861
Remote Current Contribution (%)	100
System Frequency (Hz)	60

**Fuente:** (Autor).

**Tabla 2- 11:** Resultados del cálculo para el STP del cuarto eléctrico.

Design Results	
Grounding grid resistance (Ohm)	12.631
Ground Potential Rise GPR (V)	3940.916
Grid Current (A)	581.4861
Fault Current Division Factor Sf	1.000
Tolerable Touch Voltage – 70 kg person (V)	1591.997
Tolerable Touch Voltage – 50 kg person (V)	1176.253
Touch Voltage (V)	720.893
Tolerable Step Voltage – 70 kg person (V)	5701.894
Tolerable Step Voltage – 50 kg person (V)	4212.864
Step Voltage (V)	499.950
Total length of the conductor (m)	56.000
Total number of rods	4

**Fuente:** (Autor).

Los datos de entrada para el cálculo de área de bombeo inicial, se muestran en la Tabla 2-12 y los resultados se muestran en la Tabla 2-13.

**Tabla 2- 12:** Datos de diseño SPT bombeo inicial.

Design data - Aspix	
Project name	Malla bombeo inicial
Upper layer resistivity (Ohm_m)	135.83
Lower layer resistivity (Ohm_m)	186.32
Upper layer thickness (m)	5.02
Crushed rock resistivity (Ohm_m)	135.83
Thickness of crushed rock surfacing (m)	0.1
Fault duration (s)	0.5
Maximum ground fault current (A)	2
Remote Current Contribution (%)	100
System Frequency (Hz)	60

**Fuente:** (Autor).

**Tabla 2- 13:** Resultados del cálculo para el STP bombeo inicial.

Design Results	
Grounding grid resistance (Ohm)	19.453
Ground Potential Rise GPR (V)	38.907
Grid Current (A)	2.000
Fault Current Division Factor Sf	1.000
Tolerable Touch Voltage – 70 kg person (V)	267.269
Tolerable Touch Voltage – 50 kg person (V)	197.473
Touch Voltage (V)	14.091
Tolerable Step Voltage – 70 kg person (V)	402.983
Tolerable Step Voltage – 50 kg person (V)	297.745
Step Voltage (V)	7.430
Total length of the conductor (m)	8.000
Total number of rods	2

**Fuente:** (Autor).

La Tabla 2-14 muestra los datos ingresados y los resultados del diseño de la malla de puesta a tierra para el sistema de apantallamiento de la PTAR.

**Tabla 2- 14:** Datos de diseño y resultado del SPT para el sistema de apantallamiento.

Design data - Aspix	
Project name	SPT SIPRA
Upper layer resistivity (Ohm m)	173.1
Lower layer resistivity (Ohm m)	434.49
Upper layer thickness (m)	3.38
Crushed rock resistivity (Ohm m)	173.2
Thickness of crushed rock surfacing (m)	0.05
Design Results	
Grounding grid resistance (Ohm)	3.211
Total length of the conductor (m)	561.9
Total number of rods	14

**Fuente:** (Autor).

**j. Selección de conductores, analizando las pérdidas y costos de la energía, que permitan establecer su menor costo.**

Las Figuras 2-5, 2-6 y 2-7 muestran los costos a 15 años teniendo en cuenta los siguientes datos.

Para el cálculo se toman los siguientes valores de acuerdo a lo establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas para un nivel de tensión III (34.5 – 57.5 kV):

Costo kWh nivel III = \$480,83

Demanda diaria (PU) = 14.64, teniendo en cuenta una demanda de 0,61/h

Nota: para este proyecto no se realiza comparativa en cuanto a tipo de cables ya que en el anexo técnico entregado por Papelsa, se exige cable flexible clase D o mayor con aislamiento en XHHW-2, lo cual limita exclusivamente a un único tipo de cable (Papelsa Papeles y Cartones, 2018).

**Figura 2- 5:** Calculo económico de conductores en acometidas de CCM principal.

TABLERO CCM CUARTO ELECTRICO - 480V - PBR11													
TAG	Calibre del Conductor	Conductor puesta tierra	Tipo de Acometida	Distancia al tablero [m]	Perdidas %	DEMANDA ENERGIA KW-H/DIA	PERDIDAS ENERGIA KW-H/DIA	% HORAS USO DIARIO	COSTO PERDIDAS COPS / DIA	COSTO PE A 20 AÑOS	ACOMETIDA	COSTO INSTALACION	COSTO INSTALACION 15 AÑOS
A08.S.01	1/0	10	3	28	0,24%	655,3	1,5561	50%	\$ 335,2	\$ 2.447.060	3 X 1/0+10	\$ 4.918.500	\$ 7.365.560
A08.S.02	1/0	10	3	28	0,24%	655,3	1,5561	50%	\$ 335,2	\$ 2.447.060	3 X 1/0+10	\$ 4.918.500	\$ 7.365.560
A08.S.01.A1	10	10	3	28	0,40%	109,2	0,43	25%	\$ 46,6	\$ 339.869	3 X 10+10	\$ 452.519	\$ 792.388
A08.S.02.A1	10	10	3	28	0,40%	109,2	0,43	25%	\$ 46,6	\$ 339.869	3 X 10+10	\$ 452.519	\$ 792.388
PBR11C55	1/0	1/0	3	250	1,70%	506,8	8,61	50%	\$ 1.854,4	\$ 13.537.351	3 X 1/0+1/0	\$ 43.915.177	\$ 57.452.528
A02.P.01	8	14	3	80	1,10%	163,8	1,81	25%	\$ 194,5	\$ 1.419.614	3 X 8+14	\$ 1.930.542	\$ 3.350.156
A02.P.02	8	14	3	78	1,07%	163,8	1,76	25%	\$ 189,6	\$ 1.384.124	3 X 8+14	\$ 1.882.278	\$ 3.266.402
A06.P.01	8	14	3	75	1,38%	218,4	3,01	25%	\$ 324,1	\$ 2.366.024	3 X 8+14	\$ 1.809.883	\$ 4.175.906
A06.P.02	8	14	3	74	1,36%	218,4	2,97	25%	\$ 319,8	\$ 2.334.477	3 X 8+14	\$ 1.785.751	\$ 4.120.228
A08.P.01	2	10	3	35	0,31%	436,9	1,37	25%	\$ 147,2	\$ 1.074.816	3 X 2+10	\$ 3.353.408	\$ 4.428.224
A08.P.02	2	10	3	34	0,30%	436,9	1,33	25%	\$ 143,0	\$ 1.044.106	3 X 2+10	\$ 3.257.596	\$ 4.301.703
A11.P.01	10	14	3	61	0,65%	81,9	0,53	25%	\$ 57,1	\$ 416.492	3 X 10+14	\$ 985.845	\$ 1.402.337
A11.P.02	10	14	3	60	0,64%	81,9	0,52	25%	\$ 56,1	\$ 409.664	3 X 10+14	\$ 969.683	\$ 1.379.347
A07.S.01A	10	10	3	53	0,37%	43,7	0,16	50%	\$ 34,4	\$ 251.206	3 X 10+10	\$ 856.554	\$ 1.107.760
A10.P.01	10	14	3	57	0,24%	32,8	0,08	25%	\$ 8,5	\$ 62.269	3 X 10+14	\$ 921.199	\$ 983.468
A10.P.02	10	14	3	55	0,23%	32,8	0,08	25%	\$ 8,2	\$ 60.084	3 X 10+14	\$ 888.876	\$ 948.961
A12.P.01	10	14	3	68	0,29%	32,8	0,09	25%	\$ 10,2	\$ 74.286	3 X 10+14	\$ 1.098.975	\$ 1.173.260
A12.P.02	10	14	3	68	0,29%	32,8	0,09	25%	\$ 10,2	\$ 74.286	3 X 10+14	\$ 1.098.975	\$ 1.173.260
A12.SB.01	10	10	3	74	1,28%	120,1	1,54	50%	\$ 331,8	\$ 2.421.940	3 X 10+10	\$ 1.195.943	\$ 3.617.883
A12.A.01	10	10	3	77	0,36%	32,8	0,12	50%	\$ 25,7	\$ 187.447	3 X 10+10	\$ 1.244.427	\$ 1.431.874
A04.A.01	10	10	3	88	0,61%	43,7	0,27	25%	\$ 28,6	\$ 208.548	3 X 10+10	\$ 1.422.202	\$ 1.630.751
A09.B.01	10	14	3	107	0,30%	21,8	0,07	75%	\$ 21,3	\$ 155.854	3 X 10+14	\$ 1.729.269	\$ 1.885.123
A12.P.03	10	14	3	74	0,21%	21,8	0,05	25%	\$ 4,9	\$ 35.929	3 X 10+14	\$ 1.195.943	\$ 1.231.872
A12.P.04	10	14	3	73	0,21%	21,8	0,05	25%	\$ 4,9	\$ 35.444	3 X 10+14	\$ 1.179.781	\$ 1.215.225
A12.X.01	10	10	3	76	0,13%	10,9	0,01	50%	\$ 3,1	\$ 22.514	3 X 10+10	\$ 1.228.266	\$ 1.250.779
T-LODOS	10	10	3	75	0,19%	16,4	0,03	50%	\$ 6,8	\$ 49.989	3 X 10+10	\$ 1.212.104	\$ 1.262.094
TRPRO-01 - PBR11	10	10	3	15	0,14%	64,4	0,09	100%	\$ 39,0	\$ 284.393	3 X 10+10	\$ 242.421	\$ 526.813
TRSA-01 - PBR11	2	10	3	10	0,13%	614,9	0,81	100%	\$ 347,8	\$ 2.539.266	3 X 2+10	\$ 958.117	\$ 3.497.382
TRAR-01 - PBR11	10	10	2	10	0,26%	109,8	0,28	100%	\$ 121,3	\$ 885.801	2 X 10+10	\$ 161.614	\$ 1.047.415
0													
CCM1-TG1	4/0	1/0	3	60	0,63%	3133,0	19,61	100%	\$ 8.447	\$ 61.660.628	3 X (3 X 4/0)+1/0	\$ 31.864.992	\$ 93.525.620

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 6:** Calculo económico de conductores en acometidas de CCM bombeo inicial.

TABLERO BOMBEO INICIAL - 480V - PBR11C55													
TAG	Calibre del Conductor	Conductor puesta tierra	Tipo de Acometida	Distancia al tablero [m]	Perdidas %	DEMANDA ENERGIA KW-H/DIA	PERDIDAS ENERGIA KW-H/DIA	% USO DIARIO	COSTO PERDIDAS COPS / DIA	COSTO PE A 20 AÑOS	ACOMETIDA	COSTO INSTALACION	COSTO INSTALACION 15 AÑOS
A01.P01	8	14	3	12	0,22%	218,4	0,48	25%	\$ 51,9	\$ 378.564	3 X 8+14	\$ 289.581	\$ 668.145
A01.P02	8	14	3	12	0,22%	218,4	0,48	25%	\$ 51,9	\$ 378.564	3 X 8+14	\$ 289.581	\$ 668.145
TRAR-02	10	10	3	10	0,02%	15,3	0,00	25%	\$ 0,4	\$ 2.651	3 X 10+10	\$ 161.614	\$ 164.265
CCM2-TG2	1/0	6	3	250	1,70%	506,8	8,61	325%	\$ 12.053,8	\$ 87.992.783	3 X 1/0+6	\$ 43.915.177	\$ 131.907.960

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 7:** Calculo económico de conductores en acometidas de CCM tablero bombas de proceso.

TABLERO BOMBAS DE PROCESO - 215V - TRPRO-01 - PBR11C54													
TAG	Calibre del Conductor	Conductor puesta tierra	Tipo de Acometida	Distancia al tablero [m]	Perdidas %	DEMANDA ENERGIA KW-H/DIA	PERDIDAS ENERGIA KW-H/DIA	% USO DIARIO	COSTO PERDIDAS COPS / DIA	COSTO PE A 20 AÑOS	ACOMETIDA	COSTO INSTALACION	COSTO INSTALACION 15 AÑOS
A02.QM.01	10	10	1	71	0,99%	3,6	0,04	25%	\$ 3,9	\$ 28.126	2 X 10+10	\$ 836.603	\$ 864.729
A03.P.01	10	10	1	95	0,82%	1,9	0,02	25%	\$ 1,6	\$ 11.908	2 X 10+10	\$ 1.119.398	\$ 1.131.307
A03.P.02	10	10	1	94	0,81%	1,9	0,01	25%	\$ 1,6	\$ 11.783	2 X 10+10	\$ 1.107.615	\$ 1.119.398
A04.P.01	10	10	1	97	0,83%	1,9	0,02	25%	\$ 1,7	\$ 12.159	2 X 10+10	\$ 1.142.965	\$ 1.155.124
A04.P.02	10	10	1	96	0,82%	1,9	0,02	25%	\$ 1,6	\$ 12.034	2 X 10+10	\$ 1.131.182	\$ 1.143.215
A05.P.01	10	10	1	100	0,86%	1,9	0,02	25%	\$ 1,7	\$ 12.535	2 X 10+10	\$ 1.178.314	\$ 1.190.849
A05.P.02	10	10	1	98	0,84%	1,9	0,02	25%	\$ 1,7	\$ 12.284	2 X 10+10	\$ 1.154.748	\$ 1.167.032
A10.QM.01	10	10	1	70	0,98%	3,6	0,04	25%	\$ 3,8	\$ 27.730	2 X 10+10	\$ 824.820	\$ 852.550
A07.QT.01	10	10	1	56	2,37%	10,9	0,26	25%	\$ 27,9	\$ 203.709	2 X 10+10	\$ 659.856	\$ 863.565
A07.S.01D	10	10	1	61	1,54%	5,5	0,08	25%	\$ 9,1	\$ 66.146	2 X 10+10	\$ 718.772	\$ 784.917
A12.SB.01.A1	10	10	1	85	7,20%	21,8	1,57	25%	\$ 169,4	\$ 1.236.807	2 X 10+10	\$ 1.001.567	\$ 2.238.375
0	0	0	0	0	0,00%	0,0	0,00		\$ -	\$ -			
TGP-215V	10	10	3	10	0,45%	64,4	0,29	100%	\$ 123,6	\$ 902.535	3 X 10+10	\$ 161.614	\$ 1.064.149

Fuente: (Autor).

**k. Verificación de cumplimiento para conductores seleccionados.**

Las Figuras 2-8, 2-9 y 2-10, muestran la verificación de cada uno de los conductores de acometidas teniendo en cuenta lo establecido en la IEC 60909, los datos de cortocircuito en 3F los cuales muestra el anexo 3 (Estudio de cortocircuito en 3F) y el estudio de coordinación de proyecciones que se muestra en el literal **m** de este documento.

**Figura 2- 8:** Verificación de conductores en acometidas de CCM bombeo inicial.

TABLERO BOMBEO INICIAL - 480V - PBR11C55											
ITEM	EQUIPO	CALIBRE DE ACOMETIDA	AREA EN mm2	CONSTANTE K PARA COBRE	TEMPERATURA DE RESISTENCIA CERO	TIEMPO MAXIMO DE DURACION DE CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS	MAXIMA TEMPERATURA DE OPERACIÓN °C	MAXIMA TEMPERATURA PERMISIBLE °C	CORRIENTE MAXIMA DE CORTOCIRCUITO QUE SOPORTA EL CONDUCTOR Icc3 kA	CORRIENTE DE SIMULACION DE CORTOCIRCUITO ETAP Icc5	CUMPLE
45	A01.P01	8	8,36	341	234	0,02	75	250	8,90	0,187	SI
46	A01.P02	8	8,36	341	234	0,02	75	250	8,90	0,187	SI
47	TRAR-02	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,124	SI
48	CCM2-TG2	1/0	53,5	341	234	0,1	75	250	25,47	2,465	SI

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 9:** Verificación de conductores en acometidas de CCM principal.

TABLERO CCM CUARTO ELECTRICO - 480V - PBR11											
ITEM	EQUIPO	CALIBRE DE ACOMETIDA	AREA EN mm2	CONSTANTE K PARA COBRE	TEMPERATURA DE RESISTENCIA CERO	TIEMPO MAXIMO DE DURACION DE CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS	MAXIMA TEMPERATURA DE OPERACIÓN °C	MAXIMA TEMPERATURA PERMISIBLE °C	CORRIENTE MAXIMA DE CORTOCIRCUITO QUE SOPORTA EL CONDUCTOR Icc3 kA	CORRIENTE DE SIMULACION DE CORTOCIRCUITO ETAP Icc5	CUMPLE
1	A08.S.01	1/0	53,5	341	234	0,02	90	250	53,86	0,564	SI
2	A08.S.02	1/0	53,5	341	234	0,02	90	250	53,86	0,564	SI
3	A08.S.01.A1	10	5,25	341	234	0,025	90	250	4,73	2,189	SI
4	A08.S.02.A1	10	5,25	341	234	0,025	90	250	4,73	2,189	SI
5	PBR11C55	1/0	53,5	341	234	0,1	90	250	24,09	2,465	SI
6	A02.P.01	8	8,36	341	234	0,02	90	250	8,42	0,181	SI
7	A02.P.02	8	8,36	341	234	0,02	90	250	8,42	0,181	SI
8	A06.P.01	8	8,36	341	234	0,02	90	250	8,42	0,249	SI
9	A06.P.02	8	8,36	341	234	0,02	90	250	8,42	0,249	SI
10	A08.P.01	2	33,62	341	234	0,02	90	250	33,84	0,356	SI
11	A08.P.02	2	33,62	341	234	0,02	90	250	33,84	0,356	SI
12	A11.P.01	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,101	SI
13	A11.P.02	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,101	SI
14	A07.S.01A	10	5,25	341	234	0,025	90	250	4,73	1,38	SI
15	A07.S.01B	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	1,38	SI
16	A10.P.01	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,038	SI
17	A10.P.02	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,038	SI
18	A12.P.01	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,041	SI
19	A12.P.02	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,041	SI
20	A12.SB.01	10	5,25	341	234	0,025	90	250	4,73	1,08	SI
21	A12.A.01	10	5,25	341	234	0,025	90	250	4,73	1,4	SI
22	A04.A.01	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,849	SI
24	A09.B.01	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,027	SI
25	A12.P.03	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,027	SI
26	A12.P.04	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	0,027	SI
27	A12.X.01	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	1,07	SI
28	T-LODOS	10	5,25	341	234	0,02	90	250	5,29	1,105	SI
29	TRPRO-01 - PBR11C54	10	5,25	341	234	0,1	90	250	2,36	0,124	SI
30	TRSA-01 - PBR11AUX	2	33,62	341	234	0,05	90	250	21,41	0,175	SI
31	TRAR-01 - PBR11UPS	10	5,25	341	234	0,1	90	250	2,36	0,833	SI
32	CCM1-TG1	4/0	107,21	341	234	0,25	90	250	30,53	24,793	SI

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 10:** Verificación de conductores en acometidas de CCM tablero bombas de proceso.

TABLERO BOMBAS DE PROCESO - 215V - TRPRO-01 - PBR11C54											
ITEM	EQUIPO	CALIBRE DE ACOMETIDA	AREA EN mm2	CONSTANTE K PARA COBRE	TEMPERATURA DE RESISTENCIA CERO	TIEMPO MAXIMO DE DURACION DE CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS	MAXIMA TEMPERATURA DE OPERACIÓN °C	MAXIMA TEMPERATURA PERMISIBLE °C	CORRIENTE MAXIMA DE CORTOCIRCUITO QUE SOPORTA EL CONDUCTOR I <sub>cc</sub> ; kA	CORRIENTE DE SIMULACION DE CORTOCIRCUITO ETAP I <sub>cc</sub> S	CUMPLE
33	A02.QM.01	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,112	SI
34	A03.P.01	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,128	SI
35	A03.P.02	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,128	SI
36	A04.P.01	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,126	SI
37	A04.P.02	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,127	SI
38	A05.P.01	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,123	SI
39	A05.P.02	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,124	SI
40	A07.S.01C	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,152	SI
41	A10.QM.01	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,14	SI
42	A07.QT.01	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,129	SI
43	A07.S.01D	10	5,25	341	234	0,025	75	250	5,00	0,125	SI
44	TGP-215V	10	5,25	341	234	0,1	75	250	2,50	0,124	SI

Fuente: (Autor).

### I. Selección de elementos para sujeción y estructuras de acuerdo a los esfuerzos que van a ser sometidos.

Para este proyecto no aplica este estudio. No se emplearán redes aéreas en BT y/o MT.

### m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes.

De acuerdo a los requerimientos de la instalación se seleccionan protecciones así:

- Protección principal: interruptor con unidad de disparo electrónico LSI de Schneider Electric, I<sub>cu</sub> = 65 kA, que permite calibraciones de:

L: (ajuste protección contra sobre carga a tiempo largo dependiente).

S: (ajuste de protección contra cortocircuito con retardo regulable) (puede ser excluido).

I: (ajuste de protección contra cortocircuito instantáneo) (puede ser excluido).

- Protecciones para motores con VDF:

Interruptor TMAX XT2H 160 fijo de tres polos con terminales frontales y liberación magnética, I<sub>cu</sub>=65 kA de marca ABB.

- Protecciones para alimentadores y arranques directos de bombas: Interruptores con unidad de disparo electrónico LS/I de ABB. I<sub>cu</sub> = 65 kA, que permite calibraciones de:

L: (ajuste protección contra sobre carga a tiempo largo dependiente)

S: (ajuste de protección contra cortocircuito con retardo regulable) (puede ser excluido).

I: (ajuste de protección contra cortocircuito instantáneo) (puede ser excluido).

- Protecciones para bombas de procesos a 215 V:

Guarda motores línea MS116 de ABB. Icu =16 kA.

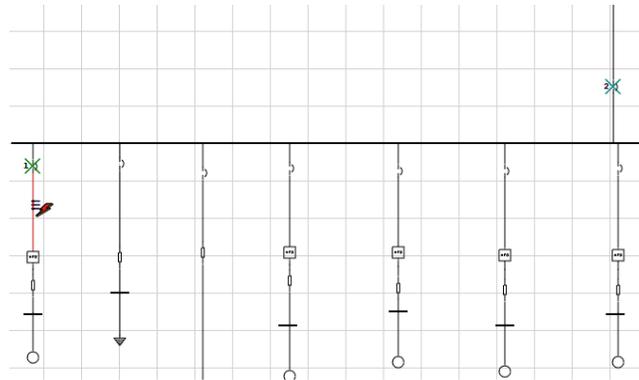
Mini Interruptores S200 Curva C, Montaje en riel DIN de 35 mm. Icn =6 kA.

#### 2.2.4. ESTUDIO DE COORDINACIÓN PTAR.

El alcance del presente estudio de coordinación cubre los equipos dentro del CCM de la PTAR, por lo que Papelsa será el responsable de garantizar que las protecciones aguas arriba cuenten con la coordinación adecuada de acuerdo en lo establecido en la IEC 60947-2 y se ajustes a este diseño.

La Figura 2-11, muestra el orden de disparo de las protecciones seleccionadas para motores con VDF, en la cual se simula un cortocircuito en la acometida que une la protección principal con el VDF, obteniendo como resultado un disparo en la protección más cercana agua arriba y continuando con la protección general del CCM, en caso que el cortocircuito sobrepase la capacidad de la protección del circuito ramal hacia el motor.

**Figura 2- 11:** Orden de disparo de protecciones para motores con VFD.

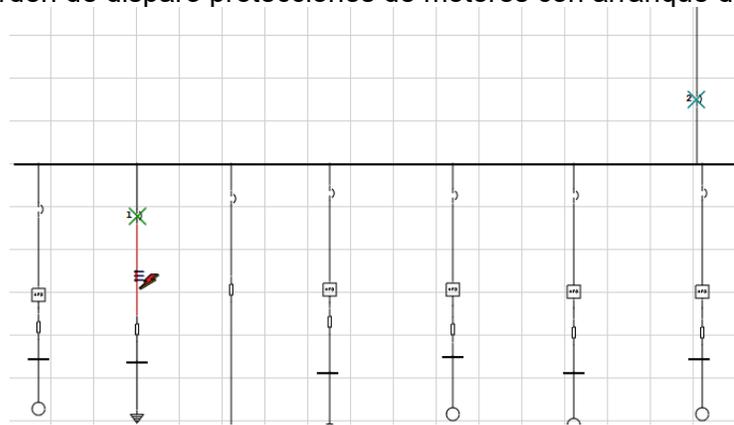


**Fuente:** (Autor)

La Figura 2-12, muestra el orden de disparo de cada una de las protecciones de motores con arranque directo y circuitos alimentadores, en la cual se simula un cortocircuito en la acometida que alimenta en motor, obteniendo como resultado un disparo en la protección

más cercana agua arriba y continuando con la protección general del CCM, en caso que el cortocircuito sobrepase la capacidad de la protección del circuito ramal hacia el motor.

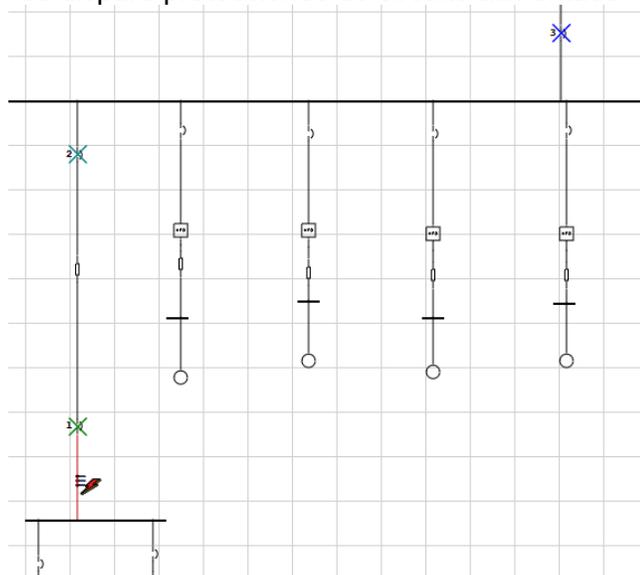
**Figura 2- 12:** Orden de disparo protecciones de motores con arranque directo.



**Fuente:** (Autor)

La Figura 2-13, muestra el orden de disparo de cada una de las protecciones para el caso del circuito alimentador del área de bombeo inicial en la cual se simula un cortocircuito en la acometida que alimenta en tablero del área de bombeo inicial, obteniendo como resultado un disparo en la protección más cercana aguas arriba y continuando con la protección instalada en el CCM y continuando con la protección general del CCM, en caso que el cortocircuito sobrepase la capacidad de la protección del circuito ramal hacia el tablero de bombeo inicial.

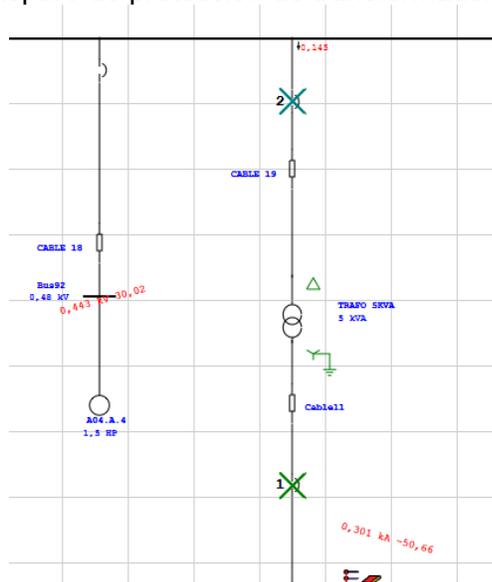
**Figura 2- 13:** Orden de disparo protecciones de circuito alimentador bombeo inicial



**Fuente:** (Autor)

La Figura 2-14, muestra el orden de disparo de cada una de las protecciones para el caso del circuito alimentador del devanado primario del transformador de proceso 5 kVA.

**Figura 2- 14:** Orden de disparo de protección de transformador 5 kVA.



**Fuente:** (Autor)

Las gráficas de coordinación y tablas de ajuste se muestran en el anexo XVII (Curvas de coordinación de protecciones), donde se pueden evidenciar los resultados del estudio.

#### n. Selección de canalizaciones teniendo en cuenta las áreas de llenado.

Las Figuras 2-15 y 2-16, muestran los porcentajes de llenado para cada una de las rutas de bandeja proyectadas en planos (Bandeja de potencia y bandeja de instrumentación y control). Para la validación de estas ver **anexo VI** (Acometidas y Bandeja Potencia R2) y **Anexo VII** (Acometidas y Bandeja Instrumentación R1).

**Figura 2- 15:** Porcentajes de llenado de bandejas de potencia.

BANDEJA EQUIPOS DE POTENCIA - RUTA 1													
BANDEJA	AREA DE BANDEJA cm2	CABLES 1/0 D=53,5mm	CABLES VDF 3X1/0+3#10 D=33mm	CABLES VDF 3X2+3#12 D=27,6mm	CABLES VDF 3X3+3#14 D=18,9mm	CABLE VDF 3X10+3#14 D=15,5mm	CABLE 4X10 D=14,76mm	CABLE 3X14 D=9,32mm	SECCIÓN TOTAL OCUPADA EN cm2	SECCIÓN PERMITIDA NTC-2050 TABLA 318-9 cm2	% DE OCUPACION NORMATIVA NTC MAX 100%	% DE OCUPACION BANDEJA RETIE MAX 40%	CUMPLE
R01-B1	324	5	2	2	4	9	24	5	107,3	180,0	60%	33%	SI
R01-B2	162	0	2	2	4	0	11	0	59,1	90,0	66%	36%	SI
R01-B3	216	0	0	0	6	2	20	3	54,8	135,0	41%	25%	SI
R01-B4	162	0	0	0	6	2	11	1	39,4	90,0	44%	24%	SI
R01-B5	54	0	0	0	4	0	1	1	12,9	30,0	43%	24%	SI
R01-B6	108	0	0	0	1	0	13	0	25,0	68,0	37%	23%	SI
R01-B7	54	0	0	0	1	2	4	0	13,4	45,0	30%	25%	SI
R01-B8	54	0	0	0	0	0	7	0	12,0	45,0	27%	22%	SI
R01-B9	108	0	0	2	0	6	4	2	30,1	68,0	44%	28%	SI
R01-B10	54	0	0	0	0	2	1	1	5,5	68,0	8%	10%	SI
R01-B11	54	0	2	0	0	0	2	0	20,5	68,0	30%	38%	SI

Fuente: (Autor)

**Figura 2- 16:** Porcentajes de llenado de bandejas de instrumentación y control.

BANDEJA EQUIPOS INSTRUMENTACIÓN RUTA 2						
BANDEJA	AREA DE BANDEJA cm2	CABLES 3X14 MULTICONDUCTOR D=9,32mm	CABLE 3X16 MULTICONDUCTOR D=8,32	SECCIÓN TOTAL OCUPADA EN cm2	% DE OCUPACION NORMATIVA RETIE MAX 50%	CUMPLE
R02-B1	108	9	29	21,9	32%	SI
R02-B2	54	4	13	9,8	22%	SI
R02-B3	54	2	5	4,1	9%	SI
R03-B4	54	2	5	4,1	9%	SI
R03-B5	54	2	8	5,7	13%	SI

Fuente: (Autor)

Las Figuras 2-17, 2-18 y 2-19, muestran los porcentajes de llenado de todas las rutas que llevan tuberías (equipos 480 V y 215 V), teniendo en cuenta los porcentajes de llenado permitidos en la NTC-2050 Tabla 4 capítulo 9, las definiciones de tamaños de tuberías se establece en (3/4", 1", 1-1/2", 2" y 2-1/2"), no se usara tubería de 1-1/4" ya que es poco comercial y las cantidades de material variarían lo cual hace difícil la consecución del mismo. Para la validación de estas ver **anexo VI** (Acometidas y Bandeja Potencia R2) y **Anexo VII** (Acometidas y Bandeja Instrumentación R1).

**Figura 2- 17:** Porcentajes de llenado de tuberías para acometidas de equipos a 480 V en CCM principal.

TABLERO CCM CUARTO ELECTRICO - 480V - PBR11												
ITEM	EQUIPO	TIPO CABLE	CALIBRE	ACOMETIDA	DIAMETRO mm	SECCIÓN EN mm2	TUBO SELECCIONADO EN "	DIAMETRO INTERNO TUBO EN mm	SECCIÓN INTERNA TUBO EN mm2	% DE OCUPACION	PORCENTAJE PERIMITIDO NTC-2050 TABLA 4 CAPITULO 9	CUMPLE
1	A08.S.01	VDF	1/0	3X1/0+3#10 VDF	33	855,3	2,5	63,5	3166,9	27%	40%	SI
2	A08.S.02	VDF	1/0	3X1/0+3#10 VDF	33	855,3	2,5	63,5	3166,9	27%	40%	SI
3	A08.S.01.A1	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
4	A08.S.02.A1	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
5	PBR11C55	ALIMENTADOR	1/0	5X1/0 MONOCONDUCTOR	11,9	556,1	2,0	50,8	2026,8	27%	40%	SI
6	A02.P.01	VDF	8	3X8+3#14 VDF	18,9	280,6	1,5	38,1	1140,1	25%	40%	SI
7	A02.P.02	VDF	8	3X8+3#14 VDF	18,9	280,6	1,5	38,1	1140,1	25%	40%	SI
8	A06.P.01	VDF	8	3X8+3#14 VDF	18,9	280,6	1,5	38,1	1140,1	25%	40%	SI
9	A06.P.02	VDF	8	3X8+3#14 VDF	18,9	280,6	1,5	38,1	1140,1	25%	40%	SI
10	A08.P.01	VDF	2	3X2+3#12 VDF	27,6	598,3	2,0	50,8	2026,8	30%	40%	SI
11	A08.P.02	VDF	2	3X2+3#12 VDF	27,6	598,3	2,0	50,8	2026,8	30%	40%	SI
12	A11.P.01	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
13	A11.P.02	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
14	A07.S.01A	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
15	A07.S.01B	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
16	A10.P.01	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
17	A10.P.02	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
18	A12.P.01	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
19	A12.P.02	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
20	A12.SB.01	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
21	A12.A.01	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
22	A04.A.01	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
24	A09.B.01	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
25	A12.P.03	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
26	A12.P.04	VDF	10	3X10+3#14 VDF	15,5	188,7	1,0	25,4	506,7	37%	40%	SI
27	A12.X.01	ECTO - REVERSI	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
28	T-LODOS	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
29	TRPRO-01 - PBR11C54	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 18:** Porcentajes de llenado de tuberías para acometidas de equipos a 480 V en CCM bombeo inicial.

TABLERO BOMBEO INICIAL - 480V - PBR11C55												
ITEM	EQUIPO	TIPO CABLE	CALIBRE	ACOMETIDA	DIAMETRO mm	SECCIÓN EN mm2	TUBO SELECCIONADO EN "	DIAMETRO INTERNO TUBO EN mm	SECCIÓN INTERNA TUBO EN mm2	% DE OCUPACION	PORCENTAJE PERIMITIDO NTC-2050 TABLA 4 CAPITULO 9	CUMPLE
45	A01.P01	VDF	8	3X8+3#14 VDF	18,9	280,6	1,5	38,1	1140,1	25%	40%	SI
46	A01.P02	VDF	8	3X8+3#14 VDF	18,9	280,6	1,5	38,1	1140,1	25%	40%	SI
47	TRAR-02	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	40%	SI
48	CCM2-TG2	ALIMENTADOR	1/0	5X1/0 MONOCONDUCTOR	11,9	556,1	2,0	50,8	2026,8	27%	40%	SI

Fuente: (Autor).

**Figura 2- 19:** Porcentajes de llenado de tuberías para acometidas de equipos a 215 V en CCM bombas de proceso.

TABLERO BOMBAS DE PROCESO - 215V - TRPRO-01 - PBR11C54												
ITEM	EQUIPO	TIPO CABLE	CALIBRE	ACOMETIDA	DIAMETRO mm	SECCIÓN EN mm2	TUBO SELECCIONADO EN "	DIAMETRO INTERNO TUBO EN mm	SECCIÓN INTERNA TUBO EN mm2	% DE OCUPACION	PORCENTAJE PERIMITIDO NTC-2050 TABLA 4 CAPITULO 9	CUMPLE
33	A02.QM.01	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	2,0	50,8	2026,8	8%	50%	SI
34	A03.P.01	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
35	A03.P.02	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
36	A04.P.01	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
37	A04.P.02	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
38	A05.P.01	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
39	A05.P.02	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
40	A07.S.01C	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76							
43	A07.S.01D	DIRECTO	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	342,2	1,5	38,1	1140,1	30%	40%	SI
41	A10.QM.01	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
42	A07.QT.01	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	1,0	25,4	506,7	34%	50%	SI
44	TGP-215V	ALIMENTADOR	10	4X10 MULTICONDUCTOR	14,76	171,1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: (Autor).

**o. Pérdidas de energía.**

Ver calculo en **anexo V** (Diagrama Unifilar General y Cuadros de Carga R1).

**p. Cálculos de regulación.**

Ver calculo en **anexo V** (Diagrama Unifilar General y Cuadros de Carga R1).

**q. Clasificación de áreas dentro de la instalación.**

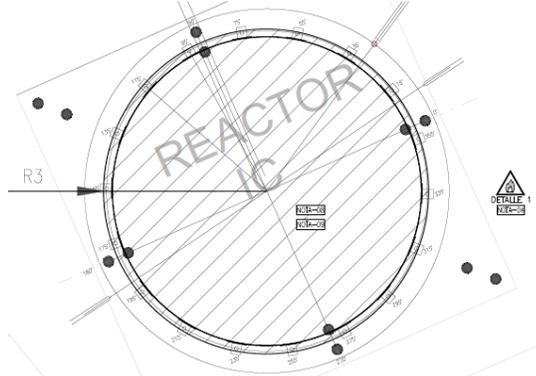
Para el proyecto **PATAR PAPELSA** se tienen áreas clasificadas en las siguientes zonas:

- Reactor: Como lo muestra la Figura 2-20, la zona del reactor está clasificada dentro de la clase I, división II y se tiene en cuenta lo siguiente:

La clasificación de áreas asociada al reactor, corresponde a la clasificación originada por las bridas localizadas en la parte superior del reactor en conjunto con el desgasificador. La clasificación es conservativa, ya que la presión del gas según la información de entrada es baja, pero en el caso de presentarse una falla accidental en los accesorios de conexión de las tuberías habría presencia de producto en el área que constituye un riesgo.

En las conexiones laterales del reactor no se origina clasificación de áreas considerando que las conexiones están asociadas a líneas de agua que no originan gases o vapores inflamables.

**Figura 2- 20:** Zona de área clasificada reactor IC, clase I, división 2, grupo CD.

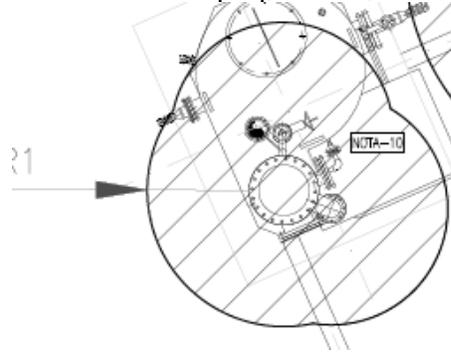


**Fuente:** (Prodeing, 2019).

- Thiopaq: Como lo muestra figura 2-21, la zona del Thiopaq está clasificada dentro de la clase I, división II y se tiene en cuenta lo siguiente:

La clasificación de áreas asociada al Thiopaq, se origina sobre las bridas de conexión donde como medida conservativa se está considerando la presencia de una posible fuga de producto por las bridas de conexión bajo una condición de falla accidental del accesorio. Para el Thiopaq solo se origina clasificación de área en los accesorios bridados que tienen presencia de gas.

**Figura 2- 21:** Zona de área clasificada Thiopaq, clase I, división 2, grupo CD.

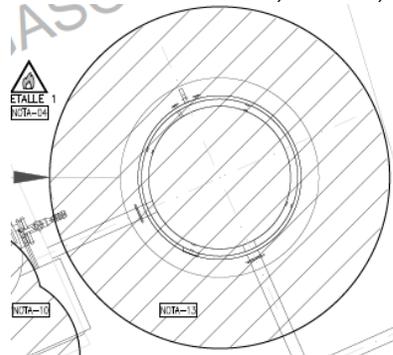


**Fuente:** (Prodeing, 2019).

- Gasómetro: Como lo muestra la Figura 2-22, la zona del gasómetro está clasificada dentro de la clase I, división II y se tiene en cuenta lo siguiente:

Para el gasómetro se considera como un equipo que bajo condiciones de operación normal no origina fugas o salidas de producto inflamable. Bajo una condición de falla del sistema por bloqueo o cierre en las válvulas de salida, la instrumentación asociada dará una orden de apagado a las bombas de entrada mitigando la posibilidad de que se presente fuga por los sellos del gasómetro por una sobrepresión. La clasificación indicada considera el caso que se presente salida de gas por el sello del equipo en condición de falla del sistema.

**Figura 2- 22:** Zona de área clasificada Gasómetro, clase I, división 2, grupo CD.

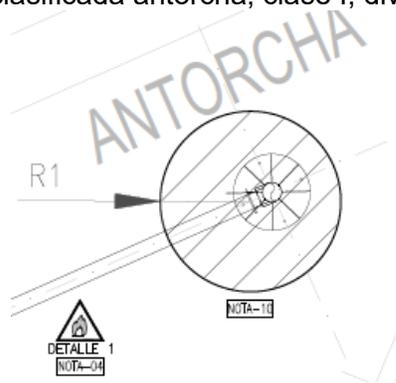


**Fuente:** (Prodeing, 2019).

Antorcha: Como lo muestra Figura 2-23, la zona del reactor está clasificada dentro de la clase I, división II y se tiene en cuenta lo siguiente:

La clasificación de áreas asociada a la antorcha, se origina sobre las bridas de conexión donde como medida conservativa se está considerando la presencia de una posible fuga de producto por las bridas de conexión bajo una condición de falla accidental del accesorio. Para el Thiopaq solo se origina clasificación de área en los accesorios bridados que tienen presencia de gas.

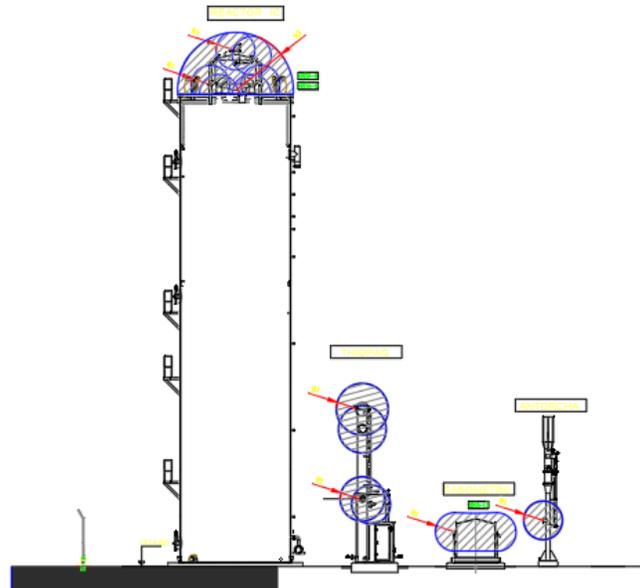
**Figura 2- 23:** Zona de área clasificada antorcha, clase I, división 2, grupo CD.



**Fuente:** (Prodeing, 2019).

- Vista lateral: En la Figura 2-24, se muestra la vista lateral las áreas clasificadas evidenciando que estas aplican para niveles altos lo con lo cual se garantiza que las rutas de cableado eléctrico no pasan por ningún tipo de estas áreas.

**Figura 2- 24:** Vista lateral clasificación de áreas PTAR.



**Fuente:** (Prodeing, 2019).

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta las áreas clasificadas en la PTAR Papelsa y con el fin de garantizar la seguridad, no se instalarán tableros de distribución eléctrica. Los tableros estarán ubicados en cuartos técnicos. En áreas clasificadas solo ingresará el alimentador al equipo final. Dicho alimentador cumplirá los requisitos y certificaciones que apliquen dentro del área clasificada.

**r. Elaboración de planos unifilares para construcción.**

Ver **anexo V** (Diagrama Unifilar General y Cuadros de Carga R1), este incluye todos los unifilares de tableros a 480 V, 215 V y 124 V.

**s. Edición de planos y condiciones eléctricas generales para construcción.**

Los planos constructivos hacen parte de los anexos con el consecutivo que se relaciona a continuación:

- Anexo I: Detalles SPT y Apantallamiento R1
- Anexo II: Apantallamiento Esferas Rodantes 3D
- Anexo III: Apantallamiento Vista Lateral 1 R1
- Anexo IV: Apantallamiento Vista Lateral 2 R1
- Anexo V: Diagrama Unifilar General y Cuadros de Carga R1
- Anexo VI: Acometidas y Bandeja de potencia R2
- Anexo VII: Acometidas y Bandeja Red de Instrumentación R1
- Anexo VIII: Equipos en Cuarto Eléctrico y Distancias Seguridad
- Anexo IX: Típicos de Instalación Eléctrica Motores R1
- Anexo X: Ruta Bombeo Inicial y Acometida General R3
- Anexo XI: Sistema de Puesta a Tierra y Apantallamiento R1

**t. Otras especificaciones técnicas que requiera la instalación, referentes a materiales y otros.**

Las especificaciones técnicas de cada uno de los materiales y equipos hacen parte de los pliegos entregados por Papelsa y no se anexan en este documento ya que son demasiado extensas (Papelsa Papeles y Cartones, 2018).

**u. Establecer las distancias de seguridad necesarias.**

Las distancias de seguridad se tienen en cuenta para el cuarto técnico y las medidas están relacionadas en la Tabla 2-15, como no se tienen redes aéreas no se toma en cuenta las distancias en áreas construidas.

**Tabla 2- 15:**Distancias de seguridad cuarto técnico PTAR Papelsa.

Límite de aproximación	Distancia
Límite de acercamiento técnico	0.22 m
Límite de acercamiento restringido	0.50 m
Límite de acercamiento seguro	0.7 m
Límite por arco eléctrico	0.455 m

**Fuente:** (Autor).

El nivel de protección es categoría 1 ( $4 \text{ cal/cm}^2$ ), el personal técnico debe usar camisa y pantalón retardante a la llama para actividades de mantenimiento e intervención sobre tableros eléctricos. Según Tabla 13.6 RETIE 2013. Literal **g**.

El piso se debe señalar con pintura de acuerdo a las medidas de la Tabla 2-15.

**v. Determinación de algún tipo de desviación técnica NTC 2050 siempre que sea permitido y garantizando la seguridad de la instalación y las personas.**

No aplica ya que todo el diseño da cumplimiento a la norma NTC2050 y RETIE 2013.

**w. Otros estudios que requiera la instalación.**

No se requieren estudios adicionales para el sistema eléctrico.

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1.1. ANÁLISIS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CARGA.

#### 3.1.1.1. CARGA NECESARIA EN KVA Y ACOMETIDA GENERAL.

De acuerdo al análisis de carga realizado y como lo evidencia el **anexo V**, la carga requerida para el proyecto es de **221,6 kVA**, con una corriente demandada (de acuerdo a la NTC-2050, Sección 430, Tabla 430-150), de **360 A**, a una tensión nominal de **480 V**.

La acometida general se define en  $2(3X4/0)+1/0T$ , la cual se alimenta desde la subestación 4 de la planta PAPELSA. El barraje del CCM se define en platina de cobre electroplateado capacidad de cortocircuito 65 kA, 600 A a 480 V @ 60 Hz.

#### 3.1.1.2. EQUIPOS PARA ARRANQUE DE BOMBAS O MOTORES.

Para bombas o motores de capacidad mayor a 1HP y que tienen incidencia directa con el proceso de tratamiento de líquidos de la PTAR, el sistema de arranque se define con VDF con potencia de trabajo semipesado.

El uso de VDF para el arranque de dichas bombas garantiza un factor de potencia entre el 0.95 y 0.98, de acuerdo con la ficha técnica que entrega fabricante, como lo evidencia la Tabla 3-1, esto garantiza una disminución en los armónicos de la red. Las bombas cuentan con un factor de potencia de 0.87 y se conectan a la salida del VDF.

De acuerdo con lo anterior, el uso de VDFs, en conjunto con una adecuación sistema de control de cada uno de los equipos, **garantiza un uso eficiente de la energía eléctrica** y una operación constante de la PTAR. Así mismo se garantiza que la distorsión armónica permanezca dentro de los límites establecidos en el estándar IEC 61000-2-4, evitando que se pueda llegar a acarrear multas por un FP bajo.

**Tabla 3- 1:** Datos técnicos del VDF seleccionado para el proyecto.

Variadores de CA PowerFlex serie 750

Categoría	Especificación	
Especificaciones eléctricas	Tolerancia de voltaje de entrada de CA:	Consulte la <a href="#">página 11</a> para obtener los rangos de potencia plena y de operación
	Tolerancia de frecuencia:	47...63 Hz
	Fases de entrada:	La entrada trifásica proporciona capacidad nominal total para todos los variadores. La operación monofásica de las estructuras 1...7 proporciona hasta el 50% de la corriente nominal a una temperatura circundante de 25 °C. No se recomienda operación monofásica para las estructuras 8 y más grandes.
	Tolerancia de voltaje de entrada de CC:	±10% de voltaje de bus nominal (arriba)
	Factor de potencia de desplazamiento:	0.98 en todo el rango de velocidades
	Impedancia de vínculo de CC:	≥ 5%
	Eficiencia:	97.5% a capacidad nominal de amperes, volts de línea nominal
	Máxima clasificación de cortocircuito:	200,000 amperes de valor eficaz simétrico (variadores 20F y 20G solamente)
	Clasificación de cortocircuito actual:	Determinado por la clasificación AIC del fusible/disuntor instalado. Consulte la <a href="#">página 52</a> para los variadores 21G
	Relación de potencia de variador a motor	
	Mínima:	Relación no menor de 1:2 recomendada
	Máxima:	Relación no mayor de 2:1 recomendada
	Clasificación de IGBT de freno:	100% de par nominal del motor
	Consumo de corriente del compartimento de control:	5 A
Entradas digitales	<u>CC</u>	<u>CA</u>
Nominal:	24 VCC	120 VCA
Máxima:	30 VCC	132 VCA
Estado alto:	20...24 VCC	100...132 VCA
Estado bajo:	0...5 VCC	0...30 VCA
Batería:	La batería de celda tipo moneda CR1220 de litio proporciona alimentación al reloj en tiempo real (opcional, no suministrado). Conserva el ajuste del reloj en caso de que se interrumpa o se desconecte y reconecte la alimentación eléctrica al variador. La vida útil aproximada es 4.5 años con el variador desactivado, o toda la vida útil si éste está activado.	

**Fuente:** (Allen-Bardley & Rokwell, 2013).

Para bombas o motores de capacidad mayor a 1 HP y que tienen incidencia secundaria con el proceso de la planta el sistema de arranque se define directo con una unidad de control universal de motor (UMC).

Las bombas del área de proceso, las cuales se encargan de inyectar cada uno de los químicos que requiere cada etapa de tratamiento del agua y que su capacidad es menor a 1HP, se define un sistema de arranque directo con una unidad de guardamotor para protección de sobrecarga y cortocircuito.

### 3.1.1.3. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN CCM.

Se define la distribución de equipos de la siguiente forma:

- Protecciones generales y arranques directos ubicados en gavetas extraíbles independientes dentro del CCM.
- VDFs ubicados en gavetas fijas independientes dentro del CCM.

- Protecciones y arranques para bombas de tablero de proceso a 124 V, ubicadas en gavetas y tableros independientes dentro del CCM.
- Transformador de potencia 480/215-124 V para bombas de proceso ubicado en gaveta independiente dentro de CCM.
- Transformadores para servicios auxiliares ubicados en la parte posterior de los tableros de proceso como lo muestra el **anexo VIII**.
- Los demás detalles de equipos se pueden evidenciar en el **anexo VIII**.

### **3.1.2. RESULTADOS DEL DISEÑO ELÉCTRICO.**

#### **3.1.2.1. ANÁLISIS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

El análisis de descargas atmosféricas determino que es necesaria la instalación de un sistema de protección externo de clase tipo I, usando el método de la esfera rodante con un radio de 35 m, tomando en cuenta el análisis de áreas clasificadas entregado por Prodeing.

Como lo muestra el numeral **b**, es necesaria la instalación de DPS para protección interior de la instalación por descargas atmosféricas.

#### **3.1.2.2. SISTEMA PUESTO A TIERRA.**

El diseño del SPT se realiza teniendo en cuenta la corriente de cortocircuito de la subestación de 44 kV, la cual alimenta la planta de PAPELSA, y se determina la ubicación y varillas como sigue:

El diseño del sistema de puesta a tierra general de la PTAR queda así:

- Malla puesta a tierra cuarto eléctrico: Conformada por 56 m de cable 1/0 AWG cobre desnudo en un área de 48 m<sup>2</sup>, con 4 varillas en sus esquinas, equipotencializada con la malla de apantallamiento y puesta a tierra de alimentador. En esta área se considera una capa superficial de alta resistividad (5000 ohm-m) la cual es concreto, separado del terreno natural con una capa de plástico para reducir la humedad de este, la resistencia calculada 12.63  $\Omega$  (valor de referencia 25  $\Omega$  para acometidas en baja tensión de acuerdo a la Tabla 15.4 del RETIE); tensiones de paso y de contacto dentro de los límites tolerables.

- Malla cuarto bombeo inicial. Conformada por 8 metros de cable de cobre desnudo 1/0 AWG, en un área de 4 m<sup>2</sup>, con dos varillas en dos extremos, esta malla se instala como refuerzo por la lejanía del tablero al punto de distribución principal. El valor calculado de resistencia de 19.45  $\Omega$ , para este caso no aplica cálculo de tensiones de paso y de contacto.
- Malla sistema de apantallamiento: Anillo perimetral con derivaciones interiores para equipotencializar estructuras metálicas e interconectar bajantes de apantallamiento, con una cantidad de 561 m de cable de cobre 1/0 AWG; el cálculo de resistencia total es de 3.21  $\Omega$ .

La ubicación física se puede evidenciar en el **anexo XI** (sistema de Puesta a Tierra y Apantallamiento R1).

### 3.1.2.3. ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.

Las protecciones seleccionadas corresponden a la IEC 60947-2 anexo B, las cuales determinan que las curvas de protecciones deben tener un espacio visible de protección y en ningún momento se deben cruzar.

El **anexo XVII** muestra las gráficas con las curvas de protección típica para cada una de las protecciones seleccionadas dentro del proyecto.

**Grafica 1:** Muestra el espacio visible entre la protección general LSI ubicada en el CCM y las protecciones LS/I seleccionadas para las bombas con arranque directo y los equipos de alimentador para tableros de control.

**Grafica 2:** Muestra el espacio visible de cortocircuito entre la protección general LSI ubicada en el CCM y las protecciones seleccionadas para motores con VDF.

**Grafica 3:** Muestra los espacios visibles entre la protección general LSI ubicada en el CCM, la protección LS/I del tablero de bombeo inicial ubicada en CCM principal y la protección del tablero de bombeo inicial LS/I.

**Grafica 4:** Muestra los espacios visibles entre la protección general LSI ubicada en el CCM, la protección LS/I de alimentación del transformador de 5 kVA ubicada en CCM principal y la protección tipo termomagnética de alimentación del tablero de bombas de proceso.

**Grafica 5:** Muestra el espacio visible de cortocircuito entre la protección general LS/I ubicada en el CCM de bombeo inicial y las protecciones seleccionadas para motores con VDF en el área de bombeo inicial.

La Tabla 3-2 muestra los parámetros de configuración físicos en cada una de las protecciones tipo LSI y LS/I del CCM en los siguientes aspectos:

L: tiempo de ajuste de retardo por sobrecarga.

S: Tiempo de ajuste retardado por cortocircuito

I: tiempo de ajuste instantáneo por cortocircuito

**Tabla 3- 2:** Ajuste de protecciones tipo LSI y LS/I en CCM principal y CCM de bombeo inicial.

TABLA DE AJUSTES PARA PROTECCION GENERAL LSI [CCM]									
TAG	CORRIENTE FCL x 1,25	Protección Seleccionada	TIPO	Sensor	L		S		I
					Ir	tr	Isd (x Ir)	tsd	Ii (x In)
PROTECCION GENERAL CCM	352	Schneider Electric Micrologic 5.3 A/E (NSX)	EKIP LSI (Electronic)	400	360 Amps	2	4 (1440 Amps)	0,2s (I <sup>2</sup> X)t=OUT	OFF

TABLA DE AJUSTES PARA PROTECCIONES LS/I [CCM]										
TAG	CORRIENTE FCL x 1,25	Protección Seleccionada	TIPO	Sensor	L		S			I
					In x(0,4+	t1	I2= In x Σ	t2	Seg	I3
A08.S.01.A1	12	1SDA 067858 R1	EKIP LS/I (Electronic)	25	0,04+0,10	3s	N/A	N/A	N/A	1+1,5+2
A08.S.02.A1	12	1SDA 067858 R1	EKIP LS/I (Electronic)	25	0,04+0,10	3s	N/A	N/A	N/A	1+1,5+2
PBR11C55 CCM	55,8	1SDA 067800 R1	EKIP LS/I (Electronic)	100	0,32	12s	1+1,5+2		0,1	N/A
PBR11C55 B-I	55,8	1SDA 067800 R1	EKIP LS/I (Electronic)	100	0,10	12s	1,5+2		0,05	N/A
A07.S.01A	0,4	1SDA 067857 R1	EKIP LS/I (Electronic)	10	0,08+0,10	3s	N/A	N/A	N/A	1,5+2
A12.SB.01	15	1SDA 067858 R1	EKIP LS/I (Electronic)	25	0,04+0,10	3s	N/A	N/A	N/A	1,5+2
A12.A.01	5,2	1SDA 067858 R1	EKIP LS/I (Electronic)	25	0,04+0,10	3s	N/A	N/A	N/A	1,5+2
A12.X.01	3	1SDA 067858 R1	EKIP LS/I (Electronic)	25	0	3s	N/A	N/A	N/A	1,5+2
TRPRO-01 - PBR11C54	0	1SDA 067857 R1	EKIP LS/I (Electronic)	10	0,04+0,08 +0,16+0,32	12s	1+5,5		0,1	N/A
TRSA-01 - PBR11AJX	02	1SDA 067859 R1	EKIP LS/I (Electronic)	03	0,04+0,08 +0,16+0,32	12s	1+1,5 +2+5,5		0,05	N/A
TRAR-01 - PBR11UPS	17	1SDA 067858 R1	EKIP LS/I (Electronic)	25	0,04+0,08 +0,16+0,32	12s	1+1,5 +2+5,5		0,1	N/A

Fuente: (Autor)

La Tabla 3-3 muestra los parámetros de configuración físicos en cada una de las protecciones tipo VDF en CCM principal y CCM de bombeo inicial:

**Tabla 3- 3:** Ajuste de protecciones tipo VDF en CCM principal y CCM de bombeo inicial.

<b>TABLA DE AJUSTES PARA INTERRUPTORES AUTOMATICOS DE ARRANQUE DE MOTOR DOL @ 480V, 65kA</b>						
TAG	CORRIENTE FCL x 1,25	Protección Seleccionada	TIPO	MCPID	Size Amps	Fijación de disparo por cortocircuito
A08.S.01	72	1SDA 067779 R1	XT2N-160A [MF]	100	100	6X
A08.S.01	72	1SDA 067779 R1	XT2N-160A [MF]	100	100	6X
A02.P.01	20	1SDA 067776 R1	XT2N-160A [MF]	100	32	6X
A02.P.02	20	1SDA 067776 R1	XT2N-160A [MF]	100	32	6X
A04.A.01	5,2	1SDA 067772 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
A06.P.01	20	1SDA 067776 R1	XT2N-160A [MF]	100	32	6X
A06.P.02	20	1SDA 067776 R1	XT2N-160A [MF]	100	32	6X
A08.P.01	55	1SDA 067778 R1	XT2N-160A [MF]	100	80	6X
A08.P.02	55	1SDA 067775 R1	XT2N-160A [MF]	100	80	6X
A11.P.01	11	1SDA 067775 R1	XT2N-160A [MF]	100	20	6X
A11.P.02	11	1SDA 067775 R1	XT2N-160A [MF]	100	20	6X
A07.S.01B	3,4	1SDA 067772 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
A10.P.01	5	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	8	6X
A10.P.02	5	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	8	6X
A12.P.01	4,8	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	8	6X
A12.P.02	4,8	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	8	6X
A09.B.01	3,4	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
A12.P.03	3,4	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
A12.P.04	3,4	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
A12.X.01	2,1	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
T.LODOS	3	1SDA 067773 R1	XT2N-160A [MF]	100	4	6X
A01.P.01	27	1SDA 067776 R1	XT2N-160A [MF]	100	32	6X
A01.P.02	27	1SDA 067776 R1	XT2N-160A [MF]	100	32	6X

Fuente: (Autor)

La Tabla 3-4 muestra los parámetros de configuración físicos en cada uno de los controladores universales de motor de acuerdo a la IEC 60947-4-2 en CCM principal:

**Tabla 3- 4:** Ajuste de UMC en CCM principal.

<b>Ajuste para Universal Motor Controller UMC100.3</b>					
	CORRIENTE FCL x 1,25	REFERENCIA	Rango de ajuste: [A]	AJUSTE DE CORRIENTE NOMINAL [A]	AJUSTE DE DISPARO POR SOBRE CARGA DE ACUERDO A IEC 60947-4-1
A07.S.01A	6,4	1SAJ530000R1100	0,24 ... 63 A	10	10E
A07.S.01B	3,4	1SAJ530000R1100	0,24 ... 63 A	10	10E
A04.A.01	5,2	1SAJ530000R1100	0,24 ... 63 A	10	10E
T.LODOS	3	1SAJ530000R1100	0,24 ... 63 A	10	10E

Fuente: (Autor)

### 3.1.2.4. CANALIZACIONES.

Se definen para el proyecto canalizaciones así:

**Exterior:** Bandeja tipo malla en acero inoxidable con tapa, tubería IMC con sellos cortafuego para áreas clasificadas y tubería PVC tipo pesado para canalizaciones subterráneas.

**Interior:** Bandeja tipo malla galvanizada en caliente con tapa, tubería IMC con sellos cortafuego para áreas clasificadas y tubería PVC tipo pesado para canalizaciones subterráneas.

Toda la canalización deberá llevar un conductor de tierra en aluminio calibre 1/0 durante todo su recorrido para equipotencializar todos los equipos y las tuberías.

La verificación de los porcentajes de llenado se puede evidenciar en el literal **n**, del capítulo 2: desarrollo metodológico de este documento, donde se garantiza el cumplimiento de la NTC-2050 y RETIE.

### 3.1.3. PLANOS PARA CONSTRUCCIÓN Y ESTUDIO ECONOMICO.

**Planos:** Los planos hacen parte de los entregables del proyecto y especifican tipos de canalización, cantidad de cableado, soportes de canalización, ubicación de equipos en CCM, ubicación de bombas, motores y tableros de control en el área de la PTAR y los diagramas unifilares para construcción. Estos se relacionan en el literal **s** del capítulo 2.1 de este documento.

**Estudio económico de la instalación inicial:** El estudio económico determina el costo del proyecto de acuerdo a las cantidades de materiales para obra, la Tabla 3-5 muestra las cantidades de material y el costo unitario incluida la mano de obra la cual es el 15% del valor de cada uno de los subsistemas del proyecto, contemplados en la etapa inicial de construcción:

**Tabla 3- 5:** Análisis de precios unitarios proyecto PTAR Papelsa.

Sistema De Apantallamiento PTAR					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unit	V total
1	S.T.I Alambroń aluminio 8mm para apantallamiento (Aleación de aluminio almgisi)	MI	200	\$ 4.600	\$ 920.000
2	Conductor aislado OBO BETTERMANN Ref.: iscon 750 SW, Art.: 5408 00 4	MI	17	\$ 365.700	\$ 6.216.900
3	Punta Captadora En Aluminio Redondeada En Un Extremo Log 150cm, 16mm 101/Alu-1500-Dx-Sb	Und	8	\$ 145.600	\$ 1.164.800
4	Punta Captadora Aislada Longitud Total 6000mm, 40mm Acero Inoxidable Fibra De Vidrio Reforzada Isfang6000	Und	3	\$ 1.324.000	\$ 3.972.000
5	Conector para iscon OBO BETTERMANN ref. Iscon ap1-16 va, art. 5408 02 6	Und	7	\$ 32.350	\$ 226.450
6	Conector terminal iscon OBO BETTERMANN ref. Iscon connect, art. 5408 02 2	Und	10	\$ 18.200	\$ 182.000
7	Soporte isfang para punta captora aislada OBO BETTERMANN ref: isfang tw30 art.: 5408 9 52	Und	9	\$ 23.350	\$ 210.150
8	Conector Variable OBO BETTERMANN Ref. 249/ZV	Und	16	\$ 85.600	\$ 1.369.600
9	Barraje Equipotencial Bigbar En Acero Inoxidable 246mm*40mm*6mm Con 5 Conexiones Y 2 Aisladores Para Aplicación Industrial	Und	4	\$ 563.200	\$ 2.252.800
10	Soporte OBO BETTERMANN Ref. 157 LK-VA	Und	12	\$ 7.450	\$ 89.400
11	Zócalo para soporte de conductor OBO BETTERMANN Ref. 194 Art N° 5207 26 6	Und	184	\$ 3.210	\$ 590.640
12	Soporte para conductor OBO BETTERMANN Ref. 177 20 M8	Und	184	\$ 1.240	\$ 228.160
13	Abrazadera distanciadora OBO BETTERMANN Ref. 831 30, Art N° 503 20 40	Und	8	\$ 14.560	\$ 116.480
14	Soporte para barras de captura OBO BETTERMANN Ref. 113 Z-16, Art N° 5214 60 9	Und	8	\$ 8.760	\$ 70.080
15	Conector en cruz OBO BETTERMANN Ref. 253 10x16, Art N° 5312 80 9	Und	4	\$ 46.700	\$ 186.800
16	Caja tipo rawelt profunda 4x4 con 2 salidas de 3/4"	Und	10	\$ 18.600	\$ 186.000
17	Tapa metaliza exterior para caja rawelt 4x4	Und	10	\$ 4.550	\$ 45.500
18	Cinta band-It 5/8"	MI	20	\$ 1.870	\$ 37.400
19	Hebilla de 5/8" para cinta band-it	Und	24	\$ 2.890	\$ 69.360
20	S.T.I. Tubo IMC 3/4" x 3m	Und	12	\$ 48.650	\$ 583.800
21	Poste en concreto 8m, 510 kg.f	Und	4	\$ 1.046.000	\$ 4.184.000
22	Chazo expansivo de 1/4"	Und	368	\$ 1.450	\$ 533.600
23	Soldadura epoxica de alta resistencia	Gramo	350	\$ 240	\$ 84.000
24	Alquiler de Manlife altura 24m	Día	8	\$ 1.245.000	\$ 9.960.000
Subtotal sistema de apantallamiento					\$ 33.479.920
Sistema De Puesta A Tierra PTAR					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unit	V total
1	S.T.I. Conductor Cobre desnudo 1/0 AWG (Marcas Nexans, Centelsa, Procables)	MI	620	\$ 26.540	\$ 16.454.800
2	S.T.I. Pinza para manipular molde cadweld en X de 1/0AWG a 1/0AWG	Und	1	\$ 185.200	\$ 185.200
3	S.T.I. Excavación terreno zona dura 40x60cm + relleno y compactación terreno natural	MI	600	\$ 32.400	\$ 19.440.000
4	Molde cadweld en X sin cortar cable 1/0AWG a 1/0AWG carga 150gr	Und	1	\$ 325.000	\$ 325.000
5	Molde cadweld cable 1/0AWG a 1/0AWG conexión en T horizontal carga 90gr	Und	1	\$ 325.000	\$ 325.000

6	Molde cadweld cable 1/0AWG a varilla 5/8" – cable en X horizontal con varilla Vertical carga 200gr	Und	1	\$ 434.000	\$ 434.000
7	S.T.I. Soldadura cadweld 90 gr	Und	60	\$ 34.200	\$ 2.052.000
8	S.T.I. Soldadura cadweld 150 gr	Und	18	\$ 42.300	\$ 761.400
9	S.T.I. Soldadura cadweld 200 gr	Und	14	\$ 48.100	\$ 673.400
10	Chispero para encender soldadura thermoweld	Und	1	\$ 48.200	\$ 48.200
11	S.T.I. Caja inspección 30x30x30 (dimensiones internas) con tapa prefabricada	Und	6	\$ 195.000	\$ 1.170.000
12	S.T.I. Barraje puesta a tierra cobre electroplateado 1/4X2X12 cobre 8 posiciones aisladores soporte a pared	Und	3	\$ 563.200	\$ 1.689.600
13	S.T.I. Varilla cobre copperweld 5/8" x 2.4m	Und	18	\$ 312.000	\$ 5.616.000
14	Masilla para sellado de moldes x 1LB	Und	2	\$ 46.500	\$ 93.000
<b>Subtotal sistema de puesta a tierra PTAR</b>					<b>\$ 49.267.600</b>
<b>Sistema De Puesta A Tierra Bombeo Inicial</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V.unt	V total
15	S.T.I. Conductor Cobre desnudo 1/0 AWG (Marcas Nexans, Centelsa, Procables)	MI	12	\$ 26.540	\$ 318.480
16	S.T.I. Soldadura cadweld 90 gr	Und	1	\$ 32.400	\$ 32.400
17	S.T.I. Soldadura cadweld 200 gr	Und	2	\$ 48.100	\$ 96.200
18	S.T.I. Caja inspección 30x30x30 (dimensiones internas) con tapa prefabricada	Und	1	\$ 195.000	\$ 195.000
19	S.T.I. Barraje puesta a tierra cobre electroplateado 1/4X2X12 cobre 8 posiciones aisladores soporte a pared	Und	1	\$ 563.200	\$ 563.200
20	S.T.I. Varilla cobre copperweld 5/8" x 2.4m	Und	2	\$ 312.000	\$ 624.000
<b>Subtotal sistema de puesta a tierra bombeo inicial</b>					<b>\$ 1.829.280</b>
<b>Variadores De Frecuencia</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unt	V total
1	vdf ref 1: pf 755 ac drive 60hp (hd) 480v	Und	2	\$ 10.832.000	\$ 21.664.000
2	vdf - drive, open, ac, 65a, 50hp nd, 40hp hd, 480 vac, 3 ph, frame 4	Und	2	\$ 8.573.000	\$ 17.146.000
3	vdf ref 2: pf 525 ac drive 20hp (nd*) 480v	Und	6	\$ 5.630.000	\$ 33.780.000
4	vdf ref 3: pf 525 ac drive 7.5hp (nd) 480v	Und	2	\$ 2.934.000	\$ 5.868.000
4	vdf ref 4: pf 525 ac drive 3hp (nd) 480v	Und	4	\$ 2.765.000	\$ 11.060.000
6	vdf ref 5: pf 525 ac drive 2hp (nd) 480v	Und	3	\$ 1.943.000	\$ 5.829.000
1	Pantalla LCD, teclado numérico completo (1)(2), IP66, NEMA tipo 4X/12 solo para uso en ambientes interiores, Incluye un cable de interface 1202-C30 (3 m/9.8 pies) para conexión con el variador.	Und	4	\$ 264.000	\$ 1.056.000
2	Adaptador de comunicaciones Ethernet/IP™	Und	4	\$ 125.600	\$ 502.400
3	Pantalla de LCD remota (montaje en panel), control de velocidad digital, compatible con CopyCat. Incluye cable de 2.0 metros. IP66, NEMA tipo 4X/12 – Solo para uso en ambientes interiores.	Und	15	\$ 86.000	\$ 1.290.000
4	Adaptador de comunicaciones Ethernet/IP™ – Puerto doble	Und	15	\$ 122.400	\$ 1.836.000
<b>Subtotal variadores de frecuencia</b>					<b>\$ 100.031.400</b>
<b>Cableado Eléctrico</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unt	V total
1	Cable multiconductor 3 x 1/0 + 3#10 t xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - 600v - 90°C -para aplicacion vdf - oil resistant - uv and water resistant etiquetado codigo numerico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	150	\$ 165.500	\$ 24.825.000
2	Cable monoconductor 1/0 awg - xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - 600v - 90°C - oil resistant - uv and water resistant etiquetado codigo numerico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	1100	\$ 28.400	\$ 31.240.000
3	Cable multiconductor 3 x 10 + 3 # 14 t xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - er - 600v - 90°C -aplicación vdf - oil resistant - uv and water resistant etiquetado codigo numerico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	700	\$ 38.600	\$ 27.020.000

4	Cable multiconductor 3 x 10 + 10 t xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - er - 600v - 90°c - oil resistant - uv and water resistant etiquetado codigo numerico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	2600	\$ 28.500	\$ 74.100.000
5	Cable multiconductor 3 x 8 + 3 # 14 t xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - er - 600v - 90°c - aplicacion vdf - oil resistant - uv and water resistant etiquetado codigo numerico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	450	\$ 67.500	\$ 30.375.000
6	Cable multiconductor 3 x 2 + 3 # 10 t xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - 600v - 90°c -para aplicacion vdf - oil resistant - uv and water resistant etiquetado codigo numerico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	100	\$ 125.400	\$ 12.540.000
7	Cable encauchetado 3x16 awg apantallado	MI	2420	\$ 7.230	\$ 17.496.600
8	Cable encauchetado 4x18 awg	MI	548	\$ 7.100	\$ 3.890.800
9	Cable multiconductor 3x14 xlpe flexible (clase d o mayor) - tc -er - 600v - 90°c -para aplicacion vdf - oil resistant - uv and water resistant etiquetado código numérico conductores color negro excepto tierra color verde	MI	1000	\$ 18.200	\$ 18.200.000
10	Cable multiconductor (encauchetado) 4x16 flexible	MI	35	\$ 9.230	\$ 323.050
11	Cable eléctrico vehicular #16 (xhwh-2 flexible) libre de halógenos - color negro	MI	200	\$ 6.540	\$ 1.308.000
12	Borna bimetálica 4/0	Und	12	\$ 18.500	\$ 222.000
13	Borna bimetálica 1/0	Und	24	\$ 9.670	\$ 232.080
14	Borna bimetálica #2	Und	26	\$ 8.560	\$ 222.560
15	Borna bimetálica #8	Und	120	\$ 3.450	\$ 414.000
16	Terminal de ojo #10	Und	450	\$ 2.520	\$ 1.134.000
17	Cable en aluminio 1/0 para puesta a tierra bandejas	MI	470	\$ 13.220	\$ 6.213.400
18	Cable cu desnudo #2 para puesta a tierra tableros	MI	30	\$ 20.200	\$ 606.000
19	Cable cu desnudo #12 para continuidad de tuberías	MI	1100	\$ 3.760	\$ 4.136.000
<b>Subtotal cableado eléctrico</b>					<b>\$ 254.498.490</b>

**Equipos ABB CCM principal 480V**

Ítem	Descripción	Und	Cant	V unt	V total
Señalización, Control Y Auxiliares					
1	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
2	Piloto/señal verde 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
3	S202M-K2UC 1P 2A	JGS	4	\$ 72.300	\$ 289.200
Comunicación					
4	T switch moxa modular managed ethernet switch with 8 10/100baset(x) ports, 4 10/100/1000baset(x) or 100/1000basesfp combo ports, and 2 slots for fast ethernet modules, front cabling, 1 isolated power supply (48 vdc), -40 to 75°c	Und	2	\$ 2.856.000	\$ 5.712.000
5	UMC100-PAN LCD Panel with USB Interface	Und	1	\$ 1.675.000	\$ 1.675.000
Ventilación					
6	Ventilador con filtro 160M3/H con estera filtrante.	Und	24	\$ 1.123.000	\$ 26.952.000
7	Resistencia de calefacción 30W. IP20	Und	6	\$ 687.500	\$ 4.125.000
8	Termóstato IP30. alimentación 110/250~. 1 NC. capacidad carga 10A Ω; 2A	Und	6	\$ 412.000	\$ 2.472.000
9	S202M-K2UC 1P 6A	Und	6	\$ 48.300	\$ 289.800
10	S202M-K2UC 1P 2A	Und	6	\$ 78.300	\$ 469.800
Totalizador					
11	Micrologic 5.3 A/E NSX Schneider Electric	Und	1	\$ 4.896.000	\$ 4.896.000
12	KIT MP T5 400W 3P Kit de transformación	Und	1	\$ 623.500	\$ 623.500
13	Parte fija de extraíble	Und	1	\$ 865.400	\$ 865.400
14	Bloqueo frontal	Und	1	\$ 367.500	\$ 367.500
15	Adaptador para accesorio	Und	1	\$ 456.000	\$ 456.000
16	Contacto auxiliar	Und	1	\$ 453.000	\$ 453.000
17	Parada de emergencia tipo hongo	Und	1	\$ 78.690	\$ 78.690

18	Mando giratorio para montaje en puerta	Und	1	\$ 612.300	\$ 612.300
	Medición De Energía				
19	Analizador de redes con ethernet M2M	Und	1	\$ 4.876.000	\$ 4.876.000
20	S201-C1 protecciones medición de energía	Und	3	\$ 92.400	\$ 277.200
	Protección Sobretensiones				
21	T2H 100 UL/CSA TMF20-500 3p F F	Und	1	\$ 1.674.000	\$ 1.674.000
22	Mando rotativo para interruptor	Und	1	\$ 327.000	\$ 327.000
	Variador bombas A08S01 Y A08S02 60HP				
23	XT2H 160 MA 100 Im=600...1400 3p F F	Und	2	\$ 1.356.400	\$ 2.712.800
24	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A08P01 Y A08P02 40HP				
25	XT2H 160 MA 52 Im=314...728 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
26	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A06P01 Y A06P02 20HP				\$ -
27	XT2H 160 MA 32 Im=192...448 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
28	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A02P01 Y A02P02 15HP				\$ -
29	XT2H 160 MA 32 Im=192...448 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
30	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A11P01 Y A11P02 7,5HP				\$ -
31	XT2H 160 MA 20 Im=120...280 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
32	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A10P01 Y A10P02 3HP				
33	XT2H 160 MF 8,5 Im=120 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
34	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A12P01 Y A12P02 3HP				
35	XT2H 160 MF 8,5 Im=120 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
36	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
	Variador bombas A09B01 Y A12P03 A12P04 2HP				
37	XT2H 160 MF 4 Im=56 3p F F	Und	3	\$ 1.322.000	\$ 3.966.000
38	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	3	\$ 327.000	\$ 981.000
	Feeders				
39	XT2H 160 Ekip LS/I In=25A 3p F F	Und	3	\$ 1.689.000	\$ 5.067.000
40	XT2H 160 Ekip LS/I In=100A 3p F F	Und	4	\$ 1.857.300	\$ 7.429.200
41	XT2H 160 Ekip LS/I In=63A 3p F F	Und	6	\$ 1.689.000	\$ 10.134.000
42	XT2H 160 Ekip LS/I In=10A 3p F F	Und	3	\$ 1.689.000	\$ 5.067.000
43	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	16	\$ 327.000	\$ 5.232.000
44	AUX 1Q 250Vac/dc - Versión no cableada.	Und	16	\$ 120.000	\$ 1.920.000
	Arranque directo A07S01A 4HP, A07S01B 2HP				\$ -
45	XT2H 160 Ekip LS/I In=10A 3p F F	Und	1	\$ 1.689.000	\$ 1.689.000
46	XT2H 160 MF 4 Im=56 3p F F	Und	1	\$ 1.322.000	\$ 1.322.000
47	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
48	UMC100.3 UC	Und	2	\$ 3.987.000	\$ 7.974.000
49	AF09-30-10-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	Und	2	\$ 311.000	\$ 622.000
50	Comunicación ethernet IP	Und	2	\$ 456.000	\$ 912.000
51	Contacto auxiliar contactor	Und	2	\$ 132.000	\$ 264.000
52	CAL4-11 contacto auxiliar contactor	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600
53	Pulsador doble iluminado + base para bloques + bloque contactos 1NA+1NC	Und	2	\$ 189.700	\$ 379.400
54	Selector de tres posiciones 22mm para operación man -auto	Und	2	\$ 68.900	\$ 137.800
55	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
56	Piloto/señal verde 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
57	S201-C0.5	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600
58	S202-C2	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600

Arranque directo bombas A04A01 2HP					
59	XT2H 160 Ekip LS/I In=10A 3p F F	Und	1	\$ 1.689.000	\$ 1.689.000
60	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	1	\$ 327.000	\$ 327.000
61	UMC100.3 UC	Und	1	\$ 3.987.000	\$ 3.987.000
62	Comunicación ethernet IP	Und	1	\$ 311.000	\$ 311.000
63	AF09-30-10-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	Und	1	\$ 456.000	\$ 456.000
64	Contacto auxiliar contactor	Und	1	\$ 132.000	\$ 132.000
65	CAL4-11 contacto auxiliar contactor	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
66	Pulsador doble iluminado + base para bloques + bloque contactos 1NA+1NC	Und	1	\$ 189.700	\$ 189.700
67	Selector de tres posiciones 22mm para operación man -auto	Und	1	\$ 68.900	\$ 68.900
68	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	1	\$ 38.500	\$ 38.500
69	Piloto/señal verde 120V LED	Und	1	\$ 38.500	\$ 38.500
70	S201-C0.5	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
71	S202-C2	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
Arranque directo bomba A12X01 1HP					
72	XT2H 160 MF 4 Im=56 3p F F	Und	1	\$ 1.322.000	\$ 1.322.000
73	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	1	\$ 327.000	\$ 327.000
74	UMC100.3 UC	Und	1	\$ 3.987.000	\$ 3.987.000
75	Comunicación ethernet IP	Und	1	\$ 311.000	\$ 311.000
76	AF09-30-10-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	Und	1	\$ 456.000	\$ 456.000
77	Contacto auxiliar contactor	Und	1	\$ 132.000	\$ 132.000
78	CAL4-11 contacto auxiliar contactor	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
79	Pulsador doble iluminado + base para bloques + bloque contactos 1NA+1NC	Und	1	\$ 189.700	\$ 189.700
80	Selector de tres posiciones 22mm para operación man -auto	Und	1	\$ 68.900	\$ 68.900
81	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	1	\$ 38.500	\$ 38.500
82	Piloto/señal verde 120V LED	Und	1	\$ 38.500	\$ 38.500
83	S201-C0.5	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
84	S202-C2	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
Arranque directo bomba tolva lodos					
85	XT2H 160 MF 4 Im=56 3p F F	Und	1	\$ 1.322.000	\$ 1.322.000
86	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	1	\$ 327.000	\$ 327.000
87	UMC100.3 UC	Und	1	\$ 3.987.000	\$ 3.987.000
88	Comunicación ethernet IP	Und	1	\$ 311.000	\$ 311.000
89	VB6-30-01-84 110-127V 40-450Hz Minicontactor inversor	Und	1	\$ 423.000	\$ 423.000
90	CAF6 - 20M VB6, VB7, VBC6, VBC7, VB6A, VB7A	Und	1	\$ 48.300	\$ 48.300
91	Pulsador doble iluminado + base para bloques + bloque contactos 1NA+1NC	Und	1	\$ 189.700	\$ 189.700
92	Selector de tres posiciones 22mm para operación man -auto	Und	1	\$ 71.200	\$ 71.200
93	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	1	\$ 38.500	\$ 38.500
94	Piloto/señal verde 120V LED	Und	1	\$ 38.500	\$ 38.500
95	S201-C0.5	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
96	S202-C2	Und	1	\$ 72.300	\$ 72.300
Subtotal equipos ABB CCM principal 480V					\$ 156.581.190
<b>Equipos ABB CCM Principal 215V - Proceso</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unt	V total
Señalización, Control Y Auxiliares					
1	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
2	Piloto/señal verde 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
3	S202M-K2UC 1P 2A	JGS	4	\$ 72.300	\$ 289.200
Ventilación					
4	Ventilador con filtro 160m3/h con estera filtrante.	Und	2	\$ 1.123.000	\$ 2.246.000

5	Resistencia de calefacción 30W. IP20	Und	1	\$ 687.500	\$ 687.500
6	Termóstato ip30. alimentación 110/250~. 1 NC. capacidad carga 10A Ω; 2A	JGS	1	\$ 412.000	\$ 412.000
7	S202M-K2UC 1P 6A	JGS	1	\$ 57.400	\$ 57.400
8	S202M-K2UC 1P 2A	JGS	1	\$ 72.300	\$ 72.300
	Totalizador				
9	A1B 125 TMF 20-300 3pFF	Und	1	\$ 386.000	\$ 386.000
10	Contacto auxiliar	Und	1	\$ 534.000	\$ 534.000
11	Parada de emergencia tipo hongo	Und	1	\$ 78.690	\$ 78.690
12	Mando giratorio para montaje en puerta	Und	1	\$ 612.300	\$ 612.300
	Protección Sobretensiones				
13	A1B 125 TMF 20-300 3pFF	Und	1	\$ 345.000	\$ 345.000
14	Mando rotativo para interruptor	Und	1	\$ 312.000	\$ 312.000
	Feeders				
15	S201-C20	Und	2	\$ 123.500	\$ 247.000
16	AUX 1Q 250VAC/DC - Versión no cableada.	Und	2	\$ 120.000	\$ 240.000
17	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
18	Piloto/señal verde 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
19	S201-C0.5	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600
20	S202-C2	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600
	Arranque Directo Bombas Dosificadoras				
21	MS116-16		11	\$ 292.000	\$ 3.212.000
22	AF09-30-10-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	Und	11	\$ 281.000	\$ 3.091.000
23	HKF1-11 contacto auxiliar guarda motor	Und	11	\$ 45.300	\$ 498.300
24	Contacto auxiliar contactor	Und	11	\$ 111.000	\$ 1.221.000
25	CAL4-11 contacto auxiliar contactor	Und	11	\$ 67.400	\$ 741.400
26	Pulsador doble iluminado + base para bloques + bloque contactos 1NA+1NC	Und	11	\$ 175.000	\$ 1.925.000
27	Selector de tres posiciones 22mm para operación man -auto	Und	11	\$ 75.600	\$ 831.600
28	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	11	\$ 38.500	\$ 423.500
29	Piloto/señal verde 120V LED	Und	11	\$ 38.500	\$ 423.500
30	S201-C0.5	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600
31	S202-C2	Und	2	\$ 72.300	\$ 144.600
Subtotal Equipos ABB CCM 220V Proceso					\$ 19.773.090
<b>Equipos ABB CCM Bombeo Inicial 480V</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unt	V total
	Señalización, Control Y Auxiliares				
1	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
2	Piloto/señal verde 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
3	S202M-K2UC 1P 2A	JGS	4	\$ 72.300	\$ 289.200
	Cableado Comunicación				
4	T switch moxa modular managed ethernet switch with 8 10/100baset(x) ports, 4 10/100/1000baset(x) or 100/1000basesfp combo ports, and 2 slots for fast ethernet modules, front cabling, 1 isolated power supply (48 VDC), -40 TO 75°C	Und	1	\$ 8.670.000	\$ 8.670.000
	Ventilación				
5	Ventilador con filtro 160m3/h con estera filtrante.	Und	4	\$ 1.123.000	\$ 4.492.000
6	Resistencia de calefacción 30W. IP20	Und	1	\$ 687.500	\$ 687.500
7	Termóstato ip30. alimentación 110/250~. 1 NC. capacidad carga 10A Ω; 2A	JGS	1	\$ 412.000	\$ 412.000
8	S202M-K2UC 1P 6A	JGS	1	\$ 57.400	\$ 57.400
9	S202M-K2UC 1P 2A	JGS	1	\$ 72.300	\$ 72.300
	Totalizador				
10	XT2H 160 Ekip LS/I In=100A 3p F F	Und	1	\$ 1.857.300	\$ 1.857.300

11	Contacto auxiliar	Und	1	\$ 534.000	\$ 534.000
12	Parada de emergencia tipo hongo	Und	1	\$ 78.690	\$ 78.690
13	Transformación fija a extraíble	Und	1	\$ 623.500	\$ 623.500
14	Parte fija extraíble	Und	1	\$ 865.400	\$ 865.400
15	Bloqueo lengüeta	Und	1	\$ 156.000	\$ 156.000
16	Conectores para cont aux	Und	1	\$ 265.400	\$ 265.400
17	Terminales posteriores	Und	1	\$ 134.000	\$ 134.000
18	Mando giratorio para montaje en puerta	Und	1	\$ 623.200	\$ 623.200
Protección Sobretensiones					
19	T2H 100 UL/CSA TMF20-500 3p F F	Und	1	\$ 1.876.500	\$ 1.876.500
20	Mando rotativo para interruptor	Und	1	\$ 286.000	\$ 286.000
21	VAL-SEC-T2-3S-350-FM	Und	1	\$ 674.900	\$ 674.900
Variador bombas A01P01 Y A01P02 20HP					
22	XT2H 160 MA 32 Im=192...448 3p F F	Und	2	\$ 1.322.000	\$ 2.644.000
23	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
Feeders					
24	XT2H 160 Ekip LS/I In=10A 3p F F	Und	1	\$ 1.689.000	\$ 1.689.000
25	XT2H 160 Ekip LS/I In=63A 3p F F	Und	1	\$ 1.689.000	\$ 1.689.000
26	Mando rotativo prolongado para totalizador estándar	Und	2	\$ 327.000	\$ 654.000
27	AUX 1Q 250Vac/dc - Versión no cableada.	Und	2	\$ 120.000	\$ 240.000
28	Piloto/señal rojo 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
29	Piloto/señal verde 120V LED	Und	2	\$ 38.500	\$ 77.000
30	S201-C0.5	Und	18	\$ 72.300	\$ 1.301.400
31	S202-C2	Und	18	\$ 72.300	\$ 1.301.400
Subtotal equipos ABB CCM bombeo inicial 480V					\$ 33.136.090
<b>Bandeja Eléctrica</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V unt	V total
Bandeja Para Interiores					
1	Bandeja tipo rejilla 600x54 Galvanizada X3M	Und	12	\$ 1.123.000	\$ 13.476.000
2	Tapa para Bandeja tipo rejilla 600x54 Galvanizada X 2,4M	Und	13	\$ 235.300	\$ 3.058.900
3	Bandeja tipo rejilla 300x54 Galvanizada X3M	Und	4	\$ 986.700	\$ 3.946.800
4	Tapa para Bandeja tipo rejilla 300x54 Galvanizada X2,4M	Und	5	\$ 186.040	\$ 930.200
5	Bandeja tipo rejilla 200x54 Galvanizada X3M	Und	15	\$ 745.600	\$ 11.184.000
6	Tapa para Bandeja tipo rejilla 200x54 Galvanizada X2,4M	Und	18	\$ 167.500	\$ 3.015.000
7	Bandeja tipo rejilla 100x54 Galvanizada X3M	Und	9	\$ 685.400	\$ 6.168.600
8	Tapa para Bandeja tipo rejilla 100x54 Galvanizada X2,4M	Und	9	\$ 121.300	\$ 1.091.700
Bandeja Para Exteriores					
9	Bandeja tipo rejilla 600x54 inoxidable 316L X3M	Und	5	\$ 164.500	\$ 822.500
10	Tapa de Bandeja tipo rejilla 600x54 inoxidable 316L X2,4M	Und	6	\$ 47.600	\$ 285.600
11	Bandeja tipo rejilla 400x54 inoxidable 316L X3M	Und	5	\$ 134.500	\$ 672.500
12	Tapa de Bandeja tipo rejilla 400x54 inoxidable 316L X2,4M	Und	6	\$ 42.500	\$ 255.000
13	Bandeja tipo rejilla 300x54 inoxidable 316L X3M	Und	8	\$ 122.600	\$ 980.800
14	Tapa de Bandeja tipo rejilla 300x54 inoxidable 316L X2,4M	Und	10	\$ 42.500	\$ 425.000
15	Bandeja tipo rejilla 200x54 inoxidable 316L X3M	Und	23	\$ 112.000	\$ 2.576.000
16	Tapa de Bandeja tipo rejilla 200x54 inoxidable 316L X3M	Und	30	\$ 39.200	\$ 1.176.000
17	Bandeja tipo rejilla 100x54 inoxidable 316L X3M	Und	41	\$ 92.400	\$ 3.788.400
18	Tapa de Bandeja tipo rejilla 100x54 inoxidable 316L X2,4M	Und	52	\$ 32.000	\$ 1.664.000
Accesorios De Bandeja En Material Estándar					
19	EDRN Accesorios X bag of 50 INOX 316	Und	5	\$ 325.000	\$ 1.625.000
20	CE 25 - CE 30 Accesorios X bag of 50 inox 316	Und	7	\$ 165.400	\$ 1.157.800
21	CLIP F02 Accesorios X bag of 25 inox 316	Und	28	\$ 112.000	\$ 3.136.000
22	FASLOCK XL Accesorios X bag of 25 inox 316	Und	5	\$ 174.300	\$ 871.500
23	Riel RSCN Cablofil X3M	Und	19	\$ 132.300	\$ 2.513.700

24	BTRCC 6x20 Adicionales X bag of 100 inox 316	Und	1	\$ 187.600	\$ 187.600
25	CE 40 Adicionales X bag of 25 inox 316	Und	2	\$ 86.500	\$ 173.000
26	Grifequip de puesta a tierra	Und	135	\$ 12.300	\$ 1.660.500
27	Soporte REF: SCMT Cablofil	Und	135	\$ 4.500	\$ 607.500
28	Herramienta de corte	Und	2	\$ 289.000	\$ 578.000
29	Soporte salida tubería ref: SBDN Cablofil	Und	100	\$ 18.500	\$ 1.850.000
30	Soporte salida tubería ref: CM50XXL Cablofil	Und	40	\$ 28.900	\$ 1.156.000
Accesorios De Fijación Bandeja					
31	Tuerca Mordaza (TMAG) Mecano	Und	220	\$ 2.800	\$ 616.000
32	HDI(-L)+ Y HDI-P Broca con tope limitador de profundidad HILTI (3/8")	Und	4	\$ 75.600	\$ 302.400
33	Anclaje de expansión de colocación con herramienta, estándar para uso cotidiano (3/8") HILTI	Und	300	\$ 2.200	\$ 660.000
34	Esparrago en acero inox 3/8" X3m	Und	15	\$ 65.400	\$ 981.000
35	Tuerca de 3/8" acero inoxidable	Und	400	\$ 800	\$ 320.000
36	Arandela de 3/8" en acero inoxidable	Und	400	\$ 400	\$ 160.000
37	Guasa de 3/8" en acero inoxidable	Und	300	\$ 400	\$ 120.000
38	Chazo expansivo de 3/8"	Und	50	\$ 1.800	\$ 90.000
Subtotal bandeja eléctrica					\$ 74.283.000
<b>Tubería Eléctrica</b>					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V.uni	V.total
1	Tubo 3/4" IMC	Und	115	\$ 64.000	\$ 7.360.000
2	Tubo 1" IMC	Und	70	\$ 95.400	\$ 6.678.000
3	Tubo 1 1/2" IMC	Und	13	\$ 167.500	\$ 2.177.500
4	Tubo 2" IMC	Und	8	\$ 198.500	\$ 1.588.000
5	Tubo 2-1/2" IMC	Und	2	\$ 286.000	\$ 572.000
6	Conduleta LB 3/4"	Und	60	\$ 23.500	\$ 1.410.000
7	Conduleta LB 1"	Und	65	\$ 28.600	\$ 1.859.000
8	Conduleta LB 1 1/2"	Und	12	\$ 35.600	\$ 427.200
9	Conduleta LB 2"	Und	6	\$ 45.600	\$ 273.600
10	Conduleta LB 2 1/2"	Und	2	\$ 53.200	\$ 106.400
11	Curva + unión 3/4"	Und	50	\$ 18.600	\$ 930.000
12	Curva + unión 1"	Und	55	\$ 22.450	\$ 1.234.750
13	Curva + unión 1 1/2"	Und	8	\$ 26.740	\$ 213.920
14	Curva + unión 2"	Und	2	\$ 38.950	\$ 77.900
15	Curva + unión 2 1/2"	Und	2	\$ 56.700	\$ 113.400
16	Conduleta en C 3/4"	Und	30	\$ 23.500	\$ 705.000
17	Conduleta en C 1"	Und	30	\$ 28.600	\$ 858.000
18	Conduleta en C 1 1/2"	Und	4	\$ 35.600	\$ 142.400
19	Conduleta en C 2"	Und	2	\$ 45.600	\$ 91.200
20	Conduleta en C 2 1/2"	Und	2	\$ 53.200	\$ 106.400
21	Conduleta en T 3/4"	Und	10	\$ 23.500	\$ 235.000
22	Conduleta en T 1"	Und	12	\$ 28.600	\$ 343.200
23	Conduleta en T 1 1/2"	Und	4	\$ 35.600	\$ 142.400
24	Caja área clasificada GRC-0556 04.04.2345 (3/4")	Und	3	\$ 75.700	\$ 227.100
25	Caja área clasificada GRC-0556 04.04.2345 (1")	Und	6	\$ 88.450	\$ 530.700
26	Sello cortafuego para tubo 3/4"	Und	12	\$ 18.600	\$ 223.200
27	Sello cortafuego para tubo 1"	Und	6	\$ 22.300	\$ 133.800
28	Caja rawelt 4x2 con 4 salidas de 3/4"	Und	15	\$ 23.600	\$ 354.000
29	Caja rawelt 4x4 con 4 salidas de 1"	Und	14	\$ 29.350	\$ 410.900
30	Prensaestopas - G-ESS-M40-L66L-STES-S (3/4")	Und	35	\$ 9.500	\$ 332.500
31	Prensaestopas - G-ESS-M40-L66L-STES-S (1")	Und	62	\$ 10.200	\$ 632.400
32	Prensaestopas - G-ESS-M40-L66L-STES-S (1 1/2")	Und	8	\$ 14.500	\$ 116.000

33	Contratuercas tubo acero galvanizado (3/4")	Und	50	\$ 800	\$ 40.000
34	Contratuercas tubo acero galvanizado (1")	Und	96	\$ 1.000	\$ 96.000
35	Contratuercas tubo acero galvanizado (1 1/2")	Und	20	\$ 1.400	\$ 28.000
36	Contratuercas tubo acero galvanizado (2")	Und	10	\$ 1.800	\$ 18.000
37	Contratuercas tubo acero galvanizado (2 1/2")	Und	8	\$ 2.500	\$ 20.000
38	Coraza de 3/4" para conexión a instrumentos y equipos área clasificada	Und	8	\$ 14.200	\$ 113.600
39	Adaptador plano para coraza de 3/4" para conexión a instrumentos y equipos área clasificada	Und	12	\$ 6.750	\$ 81.000
40	coraza de 1" para conexión a instrumentos y equipos área clasificada	Und	4	\$ 22.340	\$ 89.360
41	Adaptador plano para coraza de 1" para conexión a instrumentos y equipos área clasificada	Und	4	\$ 8.970	\$ 35.880
42	Bushing de 2" A 1"	Und	3	\$ 22.100	\$ 66.300
44	Bushing de 1-1/2" A 3/4"	Und	15	\$ 18.430	\$ 276.450
45	Bushing de 1-1/2" A 1"	Und	6	\$ 18.430	\$ 110.580
46	Bushing de 1" A 3/4"	Und	10	\$ 15.720	\$ 157.200
	Fijación Tuberías				
47	Ménsula sencilla 1,5m	Und	16	\$ 114.000	\$ 1.824.000
48	Ménsula sencilla 0,6m	Und	20	\$ 88.100	\$ 1.762.000
49	Ménsula sencilla 0,4m	Und	20	\$ 78.400	\$ 1.568.000
50	Fijador para Tubo Perpendicular al Perfil (FT2) REF.: FT2AG034N (3/4")	Und	150	\$ 7.500	\$ 1.125.000
51	Fijador para Tubo Perpendicular al Perfil (FT2) REF.: FT2AG100N (1")	Und	320	\$ 7.800	\$ 2.496.000
52	Fijador para Tubo Perpendicular al Perfil (FT2) REF.: FPAG112 (1 1/2")	Und	20	\$ 9.050	\$ 181.000
53	Banda Soporte para Tubo Apretado (BSA...) REF.: BSAAG034 (3/4")	Und	30	\$ 5.600	\$ 168.000
54	Banda Soporte para Tubo Apretado (BSA...) REF.: BSAAG100 (1")	Und	60	\$ 6.300	\$ 378.000
55	Banda Soporte para Tubo Apretado (BSA...) REF.: BSAAG112 (1 1/2")	Und	10	\$ 7.850	\$ 78.500
56	Banda Soporte para Tubo Apretado (BSA...) REF.: BSAAG112 (2")	Und	15	\$ 10.200	\$ 153.000
57	Chazo expansivo 1/4"	Und	200	\$ 1.650	\$ 330.000
58	HDI(-L)+ Y HDI-P Broca con tope limitador de profundidad HILTI (3/8")	Und	1	\$ 75.600	\$ 75.600
59	Anclaje de expansión de colocación con herramienta, estándar para uso cotidiano (3/8") HILTI	Und	50	\$ 2.200	\$ 110.000
60	Esparrago en acero inox 3/8" X3M	Und	5	\$ 65.400	\$ 327.000
61	Tuerca de 3/8" acero inoxidable	Und	40	\$ 800	\$ 32.000
62	Arandela de 3/8" en acero inoxidable	Und	40	\$ 400	\$ 16.000
63	Guasa de 3/8" en acero inoxidable	Und	40	\$ 400	\$ 16.000
64	Chazo expansivo de 3/8"	Und	50	\$ 1.800	\$ 90.000
65	Riel chanel 4x2 acanalado, ranurado x2,4m	Und	10	\$ 85.670	\$ 856.700
Subtotal tubería eléctrica					\$ 43.325.040
Transformador De Potencia					
Ítem	Descripción	Und	Cant	V.uni	V.total
1	Transformador trifásico 45KVA 480/215-124V - seco con celda IP21 DYN - K13 (ABB, SUNTEC, SIEMNES)	Und	1	\$ 1.245.300	\$ 1.245.300
Subtotal transformador de potencia					\$ 1.245.300

**Fuente:** (Autor)

La Tabla 3- 6 muestra el costo total del proyecto en cada uno de los subsistemas, donde se puede evidenciar que el costo total del proyecto es de **novecientos veinte millones ciento setenta y tres mil treinta pesos M/Cte (\$920.173.030)**.

**Tabla 3- 6:** Costo total del proyecto antes de impuestos PTAR Papelsa.

Costo General Del Proyecto Antes De Impuestos		
Ítem	Descripción	Valor Total
1	Subtotal sistema de apantallamiento	\$ 33.479.920
2	Subtotal sistema de puesta a tierra PTAR	\$ 49.267.600
3	Subtotal sistema de puesta a tierra bombeo inicial	\$ 1.829.280
4	Subtotal variadores de frecuencia	\$ 100.031.400
5	Subtotal cableado eléctrico	\$ 254.498.490
6	Subtotal equipos ABB CCM principal 480v	\$ 156.581.190
7	Subtotal equipos ABB CCM 220v proceso	\$ 19.773.090
8	Subtotal equipos ABB CCM bombeo inicial 480v	\$ 33.136.090
9	Subtotal bandeja eléctrica	\$ 74.283.000
10	Subtotal tubería eléctrica	\$ 43.325.040
11	Subtotal transformador de potencia	\$ 1.245.300
Costo del proyecto antes AIU		\$ 767.450.400
ADMINISTRACIÓN (5%)		\$ 38.372.520
IMPREVISTOS (3%)		\$ 23.023.512
UTILIDAD (10%)		\$ 76.745.040
SUBTOTAL		\$ 905.591.472
IVA SOBRE UTILIDAD (19%)		\$ 14.581.558
VALOR TOTAL DEL PROYECTO		\$ 920.173.030

**Fuente:** (Autor).

La Tabla 3-7 muestra el valor de mano de obra por mantenimiento preventivo y correctivo durante los próximos 10 años, incluida una bolsa de repuestos menores, este costo se establece de acuerdo con los requerimientos establecidos por el RETIE, para las instalaciones eléctricas nuevas, a fin de garantizar una operación constante de la planta, ya que está operará 7/24/365, excepto las paradas que se programen en la planta de producción para mantenimiento de otros sistemas.

**Tabla 3- 7:** Costos de mantenimiento de la infraestructura por año.

Mantenimiento	Tiempo	Actividades	Valor
Equipos CCM	3 veces por año (2 técnicos + 1 supervisor por 2 días)	Verificación de torque, equipotencialización, variables eléctricas y factor de potencia	\$4.200.000
Cableado eléctrico y canalización	1 ves por año (2 técnicos + 1 supervisor por 6 días)	Verificación de estado del cableado, accesorios de canalizaciones, fijación de cableado y canalizaciones, inspección de conexiones en equipos	\$3.125.000

Equipos de control y automatización	3 veces por año. (2 técnicos + 1 ingeniero por 3 días)	Verificación de conexiones, inspección de dispositivos de protección, cableado y canalizaciones, actualización de software en equipos y actualización del sistema SCADA	\$5.625.000
		Valor para el primer año	\$12.950.000
		Valor para el segundo año	\$13.209.000
		Valor para el tercer año	\$13.473.180
		Valor para el cuarto año	\$13.742.644
		Valor para el quinto año	\$14.017.496
		Valor para el sexto año	\$14.297.846
		Valor para el séptimo año	\$14.583.804
		Valor para el octavo año	\$14.857.480
		Valor para el noveno año	\$15.172.990
		Valor para el décimo año	\$15.476.450
		<b>Valor total durante 10 años</b>	<b>\$141.780.890</b>
		<b>Bolsa de repuestos general (6% del valor total de la obra antes de AIU)</b>	<b>\$46.047.024</b>

Fuente: (Autor).

La Tabla 3- 8 muestra el valor total de la obra incluido el mantenimiento por diez años incluido AIU e impuestos.

**Tabla 3- 8:** Valor total de la obra incluido el costo de mantenimiento durante los próximos 10 años.

Valor total de la obra, incluido el mantenimiento de cableado y equipos por 10 años	<b>\$1.108.000.944</b>
---	------------------------

Fuente: (Autor).

**Análisis económico del proyecto:** En general se puede establecer lo siguiente.

- Papelsa como tal no estima una tasa de retorno económico dentro del proyecto, ya que la construcción de la PTAR, es un tema obligatorio para cumplir con lo establecido en la resolución 631 de 2015, ya que está puede acarrear multas hasta por dos mil quinientos millones de pesos (\$2.500.000.000), si no se cumplen los valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
- Para Papelsa es muy importante contar con una PTAR en su planta de producción ya que le permite obtener certificaciones de calidad en el ámbito ambiental, lo que le genera un mayor crecimiento competitivo en la industria.

- En general, la instalación eléctrica de la PTAR, se establece bajo normatividad americana, en cuanto a equipos y cableado se refiere. Lo anterior garantiza una mayor vida útil de todo el sistema, que permite un ahorro significativo de costos al proyectar su vida útil hasta por 25 años.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De manera general se puede concluir que:

- El estudio de carga determino que la capacidad necesaria que debe suministrar Papelsa es de 222 kVA y una acometida general en  $2(3x4/0) + 1x1/0T$  AWG, desde la subestación # 4 de la planta de producción.
- El uso de VDFs para el sistema de arranque de las bombas mayores a 1HP garantiza un factor de potencia cercano a 1, con lo que se cumplen los requerimientos del uso eficiente de la energía eléctrica.
- El estudio de armónicos realizado en ETAP da como resultado que no se requiere instalar un banco de condensadores para inyectar potencia reactiva ya que no se superan los porcentajes de perturbación definidos en la IEC 61000-2-4.
- Por la ubicación geográfica de la PTAR, se requiere un sistema de protección externo, cubierto por un sistema de apantallamiento clase I con un radio de esfera rodante de 35m, y un sistema de protección interno con DPS en cada uno de los tableros eléctricos. Con esta instalación se da cumplimiento a la normatividad NTC-4552.
- El diseño del sistema de puesta a tierra cumple con los parámetros establecidos por la IEEE80 de acuerdo con la simulación realizada en el software ASPIX.
- El estudio de coordinación se protecciones evidencia una adecuada posición de las curvas, garantizando un adecuado disparo en caso de falla y evitando una superposición entre estas, por otra parte, el tiempo de disparo máximo de la protección general es de 0,2s lo cual asegura una selectividad correcta.
- El cálculo de canalizaciones evidencia el cumplimiento de los porcentajes de llenado de acuerdo a la NCT-2050 y el RETIE 2013.
- El estudio económico determina el valor total de la obra, lo cual es un factor muy importante dentro del proyecto.
- En general se puede concluir que el diseño eléctrico cumple con cada uno de los parámetros exigidos por las distintas normatividades aplicables y se entrega listo para construcción.
- Se puede denotar el cumplimiento de la normatividad americana en cuanto a cableado y equipos se refiere.

**Las recomendaciones son:**

- El constructor es el responsable de que la construcción se ejecute de acuerdo a los parámetros establecidos en este documento y puede realizar cambios menores si así lo cree conveniente.
- Se debe garantizar la profundidad de enterramiento de la malla de tierra, la cual queda a 0,6 m en zonas comunes y 0,8 m en vías de acceso vehicular.
- Papelsa es responsable de garantizar la coordinación de la protección instalada en la subestación #4 con la protección general del CCM, con las curvas de disparo de cada una de estas.
- El constructor es responsable de ajustar en campo cada una de las protecciones de acuerdo a las tablas de ajustes anexa en los resultados de este documento, con el fin de garantizar una adecuada coordinación de protecciones.
- Todos los elementos y estructuras metálicas deben estar equipotencializados con la malla de puesta a tierra, incluida la malla existente en la planta.
- En áreas clasificadas se debe garantizar la instalación de accesorios certificados para tal fin.
- De manera general se recomienda seguir cada uno de los parámetros establecidos en este diseño y los anexos adjuntos, para garantizar un adecuado funcionamiento de la PTAR.

## **5. ANEXOS**

- 5.1. Anexo I: Detalles SPT y Apantallamiento R1**
- 5.2. Anexo II: Apantallamiento Esferas Rodantes 3D**
- 5.3. Anexo III: Apantallamiento Vista Lateral 1 R1**
- 5.4. Anexo IV: Apantallamiento Vista Lateral 2 R1**
- 5.5. Anexo V: Diagrama Unifilar General y Cuadros de Carga R1**
- 5.6. Anexo VI: Acometidas y Bandeja de potencia R2**
- 5.7. Anexo VII: Acometidas y Bandeja Red de Instrumentación R1**
- 5.8. Anexo VIII: Equipos en Cuarto Eléctrico y Distancias Seguridad**
- 5.9. Anexo IX: Típicos de Instalación Eléctrica Motores R1**
- 5.10. Anexo X: Ruta Bombeo Inicial y Acometida General R3**
- 5.11. Anexo XI: Sistema de Puesta a Tierra y Apantallamiento R1**
- 5.12. Anexo XII: Análisis de flujo de carga**
- 5.13. Anexo XIII: Análisis de flujo de carga**
- 5.14. Anexo XIV: Estudio de Cortocircuito en L-G**
- 5.15. Anexo XV: Estudio de Cortocircuito en 3F**
- 5.16. Anexo XVI: Análisis de armónicos**
- 5.17. Anexo XVII: Curvas de coordinación de protecciones**

# BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (22 de 03 de 2020). *www.abb.com*. Obtenido de abb: *www.abb.com*
- Allen-Bardley, & Rokwell, A. (2013). *Datos Tecnicos variadores de CA PowerFlex serie 750*. Publicación de Rockwell Automation.
- Casas Ospina, F. (2005). *Tierras, Soporte de la Seguridad Elèctrica*. Bogotá: Printed in Colombia.
- Centelsa. (2018). <http://www.centelsa.com.co/archivos/a8280327.pdf>. Obtenido de <http://www.centelsa.com.co/archivos/a8280327.pdf>: <http://www.centelsa.com.co>
- Circutor. (s.f.). *Procedimientos para el estudio y análisis de perturbaciones armónicas*. Obtenido de Circutor: *www.circutor.com*
- Cirprotec, C. (2018). *Selección de DPS en BT*. Terrassa.
- ENEL Codensa. (2019). *Guía para la presentación versión 3*. Bogotá.
- EPM, G. (2017). *Presentación de proyectos eléctricos particulares para la conexión al sistema de EPM*. Medellín.
- Expósito, A. G., Ramos, J. L., & Santos, J. M. (2007). *Fundamentos de teoría de circuitos*. Ediciones Paraninfo.
- Gaviria, S. I. (2016). *Metodología para la elaboración y presentación de proyectos eléctricos de MT y BT*. Bogotá: U,Distrital.
- IEC 60909, C. I. (2001). *IEC 60909-0*. Madrid, España: Aenor.
- IEEE Standards, A. (2000). *IEEE Std 80*. New York.
- INGETESA S.A. (2019). *Medida de resistividad, área PTAR y Bombeo Incial*. Barbosa.
- International Copper, A. L., & Procobre, C. (2001). *Optimización económica en el dimensionamiento de cables de potencia*. Chile: INN Chile.
- International Electrotechnical Commission. (2006). *International Standard IEC 60076-5*. Switzerland - Suiza: Third edition.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo, S. (2015). *Resolución 631 de 2015*. Bogotá: Diario Oficial.
- NEC, N. F. (2017). *National Electric Code*. New York.
- NTC 4552, I. (2004). *NTC 4552 Protección contra rayos, principios general*. Bogotá.
- NTC-2050, M. d. (1998). *Codigo Eléctrico Colombiano, NTC-2050*. Bogotá: ICONTEC.

- NTC-4552-2, I. (2008). *Norma Técnica Colombiana NTC-4552-2*. Bogotá.
- Papelsa Papeles y Cartones, S. (2018). *Wastewater treatment plant at Papelsa paper mill purchase specifications*. Medellín: Papelsa.
- Procobre, C. (2003). Instalaciones de consumo en baja tensión, NCh Elec.4/2003. S.E.C, 82.
- Prodeing. (2019). *Informe de clasicación de áreas PTAR Papelsa*. Barbosa.
- PTAR Salitre, Bogotá. (05 de 10 de 2019). *PTAR Salitre*. Obtenido de PTAR Salitre: [www.ptarsalitre.com.co](http://www.ptarsalitre.com.co)
- RETIE, M. d. (2013). *Reglamento Tecnico de Intalaciones Electricas RETIE*. Bogotá.
- Ruiz Rojas, D. C., & Lozano Bayona, D. H. (2007). *Coordinación De Aislamiento Centrales Y Subestaciones*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Ruiz Rojas, D. C., & Lozano Bayona, D. H. (2017). *Coordinacion de aislamiento*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Salamanca Gaviria, S. I. (2016). *Metodología para la elaboración y presentación de proyectos eléctricos de subestaciones tipo local*. Bogotá: Universidad Distrital.
- Schneider Electric. (2014). *Coordinación de Protecciones en BT*. Schneider.
- Siemens. (05 de 10 de 2019). [www.new.siemens.com](http://www.new.siemens.com). Obtenido de Centros de Control de Motores: [www.new.siemens.com/global](http://www.new.siemens.com/global)
- Vargas Ruiz, E. A., & Ospina Usaquen, M. H. (2018). *Informe de coordinación de protecciones con el software ETAP, para los servicios auxiliares AC de una central hidroeléctrica*. Bogotá: U, Distrital.