



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Nicole Alexandra Piña Galarce

Ampliación de planta de tratamiento de aguas servidas, del aeropuerto Arturo Merino Benitez

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



Ampliación de planta de tratamiento de aguas servidas, del
aeropuerto Arturo Merino Benitez

Nicole Alexandra Piña Galarce

Tesis para el grado de Ingeniero Eléctrico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Paulino Alonso Rivas

Profesor Guía

Sr. Sergio Valencia Santelices

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 28 de junio de 2017

Resumen

En el presente proyecto, se desarrolla una ampliación de la planta de tratamiento de aguas servidas del aeropuerto Arturo Merino Benítez.

La propuesta del sistema tiene por objetivo la modernización de la planta de tratamiento de aguas servidas, por medio del levantamiento del sistema ya existente y la respectiva evaluación de los cambios necesarios para dicho propósito, logrando que el sistema tenga una vida útil mínima de 30 años.

La metodología utilizada para desarrollar el sistema, es la investigación y análisis de plantas de tratamiento de aguas servidas implementadas previamente, y la comparación y definición de los aspectos más significativos de cada etapa. Luego, se realiza la selección del sistema que se adecue a los requerimientos del proyecto. Posteriormente, se plantean y mejoran las etapas del sistema propuesto. Además, se incorpora un Controlador Lógico Programable (PLC) para controlar las bombas de la planta de tratamiento de aguas servidas.

Adicionalmente, se estudia el funcionamiento de las bombas en el sistema, se definen los conceptos necesarios para entender el proyecto y se dan conocer las normas exigidas que se deben cumplir para no ser sancionados con multas.

Otra aspecto importante para el desarrollado de este proyecto, es el uso de las herramientas de software: Autocad Electrical versión 2016 y Aurora LE versión 2.0. Este software permite la elaboración de diagramas unilineales, diagramas de fuerza, diagramas de control y diagrama de la programación lógica Ladder de control del sistema. Se utiliza una gama de componentes que permiten tener un control adecuado de las instalaciones, como también llevar un monitoreo de la planta para evitar posibles errores o fallas.

Finalmente, se analiza y evalúa económicamente la ampliación de la planta, considerando una comparación de costos de los componentes y herramientas ofrecidos por los proveedores e incorporando la mano de obra para realizas la ampliación de la planta de aguas servidas.

Abstract

This project develops an extension of the Arturo Merino Benitez airport wastewater treatment plant.

The proposal's goal is the sewage treatment plant upgrade by means of analyzing the current system, and the assessment the needed changes to achieve the update and a minimum useful life of 30 years

The methodology used by developing the system is the research and analysis of sewage treatment plants previously implemented, and the comparison and definition of the most significant aspects of each stage. Then, the system selection is performed and it considered the project's requirements, and next the system stages are raised and improved. Furthermore, it is incorporate a Programmable Logic Controller to control the pumps of the wastewater treatment plant.

In addition, this project studies the pump operation in the system; it defines the concepts needed to understand it, and this document announces rules about the required standards that the project must meet in order not to be penalized.

Another important aspect for the development of this project is the use of the tools Autocad Electrical version 2016 and Aurora LE version 2.0. These softwares allow the development of unilinear diagrams, force diagrams, control diagrams and diagram of the logic programming Ladder control system. It is employed a range of components, it allow the facility's adequate control and monitoring of the plant to avoid mistakes, and failures.

Finally, the plant's extension is analyzed and assessed economically; it is considered cost comparison of the components and tools offered by suppliers, and it is incorporated the labor needed to carry out the upgrade.

Índice general

Abstract.....	1
Índice general	1
Introducción.....	1
Objetivos generales	3
Objetivos específicos	3
1 Presentacion del proyecto	4
1.1 Antecedentes del proyecto	4
1.1.1 Localización	4
1.1.2 Especialidad eléctrica.....	6
1.1.3 Especialidad sanitaria.....	6
2 Conceptos y elementos del proyecto	9
2.1 Conceptos	9
2.1.1 Sistemas de control	9
2.1.2 Clasificación de circuitos	9
2.1.3 Pulsadores.....	10
2.1.4 Interruptor de circuito	10
2.1.5 Relé	11
2.1.6 Luces piloto	12
2.1.7 Contactor	12
2.1.8 Accionamiento.....	13
2.2 Elementos	13
2.2.1 Partidor suave	13
2.2.2 PLC	14
2.2.3 Cables libres de halógeno.....	14
2.2.4 Controlador de factor de potencia.....	15
2.2.5 Control de nivel	15
2.2.6 Medidor ultrasónico	15
2.2.7 Tipos de bombas	16

3 Desarrollo del tratamiento y futuro de la planta de aguas servidas	19
3.1 Antecedentes	19
3.2 Sistema de tratamiento biológico	19
3.3 Descripción del Tratamiento Proyectado	20
3.3.1 Separación de solidos gruesos	21
3.3.2 Planta Elevadora de Aguas Servidas (PEAS).....	21
3.3.3 Separación de Sólidos Finos	22
3.3.4 Desarenado, Desgrasado y Clasificado de Arenas	22
3.3.5 Estanque selector de lodos o bioselector.....	23
3.3.6 Tratamiento Biológico	24
3.3.7 Clarificación o sedimentadores secundarios	26
3.3.8 Recirculación de lodos (RAS)	27
3.3.9 Desinfección en Cámara de Cloración.....	28
3.3.10 Digestión Aeróbica de Lodos	28
3.3.11 Deshidratado de Lodos.....	28
4 Análisis técnico.....	29
4.1 Puntos más importantes de la Norma Eléctrica 4/2003.....	29
4.2 Cálculo de conductores.....	32
4.2.1 Caída de tensión.....	32
4.2.2 Intensidad de corriente.....	34
4.2.3 Caída de tensión versus Intensidad de corriente.....	35
4.2.4 Conductor a utilizar	36
4.3 Arquitectura de PLC.....	37
4.4 Estructura básica de un PLC	38
4.4.1 Programación tipo escalera o ladder	40
4.4.2 ¿Qué PLC colocar?	43
4.5 Justificación de protecciones	44
4.5.1 Elección de protecciones a utilizar	45
4.6 Partidores suaves	46
4.6.1 Funcionamiento de partidor	46
4.6.2 ¿Qué partidor instalar?.....	47
4.6.3 Conexión de partidor suave al motor.....	47
4.7 Factor de potencia	48
4.7.1 ¿Cómo corregir su factor de potencia?	48
4.7.2 Elección de tipo de banco de condensadores a utilizar.....	52
4.8 Diagramas	53
4.8.1 Diagrama de procesos	53
4.8.2 Diagramas unilineal de fuerza	55
4.8.3 Diagrama trifásico de fuerza	63
4.8.4 Desarrollo del sistema de control en el tratamiento de aguas servidas.....	73
5 Costo Económico.....	77
5.1 Costos de los componentes	77
5.2 Presupuesto de Mano de Obra	82
5.3 Costo total del proyecto.....	83

Conclusiones.....	84
Bibliografía.....	86
A Norma chilena eléctrica 4/2003	88
A.1 Terminología.....	88
A.2 Exigencias Generales.....	89
A.2.1 Condiciones de Alimentación.....	89
A.2.2 Condiciones de Montaje.....	89
A.3 Tableros	90
A.3.1 Conceptos generales.....	90
A.3.2 Clasificación	90
A.3.3 Material eléctrico	90
A.3.4 Conexión a tierra.....	90
A.4 Alimentadores	90
A.4.1 Conceptos generales.....	90
A.4.2 Especificaciones	91
A.4.3 Dimensionamiento	91
A.5 Materiales y sistemas de canalización	91
A.5.1 Conceptos generales.....	91
A.5.2 Conductores para instalaciones	92
A.5.3 Especificaciones y condiciones de uso de los conductores.....	92
A.6 Medidas de proteccion contra tensiones peligrosas	92
A.6.1 Generalidades	92
A.7 Instalaciones de fuerza.....	92
A.7.1 Conceptos generales.....	92
A.7.2 Dimensionamiento de conductores.....	93
A.7.3 Protecciones y comandos	93

Introducción

El aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez de Santiago, ubicado en la Región Metropolitana, provincia de Santiago, Comuna de Pudahuel, es el principal terminal aéreo del país, ya que concentra los mayores movimientos, tanto de pasajeros como de carga. Fue inaugurado oficialmente hace 50 años, el 9 de febrero de 1967. A partir de 1980, el aeropuerto paso a denominarse Arturo Merino Benítez, en homenaje al fundador y primer comandante en jefe de las fuerza área de Chile (FACH) e importante precursor de la aviación militar, civil y comercial del país.

El plan de desarrollo físico, que lleva a cabo la Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel S.A. (SCNP), es el que se requiere para que el recinto responda a la demanda de pasajeros y a las operaciones proyectadas al año 2030. Es por eso que, es necesario la modificación de la planta de aguas servidas para abastecer la nueva ampliación del aeropuerto, este plan también cuenta con instalaciones para recolección de aguas servidas, almacenamiento y distribución de agua potable, red de incendio, redes de energía, entre otras dependencias que apoyan y hacen posible su funcionamiento.

Las aguas servidas al ser líquidos contaminados, requieren de sistemas de canalización y tratamiento que cumplan con las normativas vigentes. Estas aguas son fluidos procedentes de vertidos cloacales e instalaciones de saneamiento; son líquidos con materia orgánica, fecal y orina, que circulan por el alcantarillado. También, las aguas servidas se les denominan Aguas Negras o Aguas Cloacales, discurren por el sistema de alcantarillado, y en algunas comunidades se incluyen también las aguas procedentes de lluvias (pluviales) y de infiltraciones de terrenos.

Es importante mencionar que, el tratamiento de estas aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. Las aguas Servidas recolectadas deben limpiarse antes de ser devueltas al medio ambiente, para no dañar la flora y fauna. Lo que se extrae de estas aguas son sólidos en forma de basura, los cuales son sacados mediante camiones y transportados a lugares especialmente habilitados, que han sido aprobados por las autoridades municipales, de salud y medio ambiente.

Actualmente, la planta de tratamiento de aguas servidas del Aeropuerto de Santiago AMB corresponde a un sistema de tratamiento biológico convencional, basado en el proceso de Lodos Activados, en la modalidad de aireación extendida o baja carga. La configuración del sistema existente responde a la tecnología desarrollada y patentada por AERO MOD (USA).

El flujo de aguas servidas proveniente de las distintas dependencias del aeropuerto es recibido a través de una tubería de drenaje de 800 mm, la que llega a la Planta a una profundidad de aproximadamente 6 m. Se

almacena adecuadamente en la Cámara de Bombas, en cuya entrada existe un canastillo para la separación de sólidos gruesos, las que son retiradas en forma manual mediante un tecla de levante. En dicha Cámara existen cuatro bombas eléctricas sumergibles, que transportan las aguas servidas hacia la Cámara de Rejas para la separación de sólidos finos.

Además, la planta de tratamiento de aguas servidas del Aeropuerto AMB para las actuales condiciones se encuentra operando con una adecuada capacidad. Sin embargo, para asegurar su operatividad, durante el periodo de previsión, se ha considerado mejorar sus condiciones de diseño, lo que significa una mejora en los procesos unitarios y de los equipos, ya que se proyecta una vida útil mínima de 30 años.

La investigación y el análisis de sistemas de tratamiento de aguas servidas, se dividen en varias etapas, primero se realiza una búsqueda de definiciones de conceptos, herramientas y elementos necesarios para entender de lo que se está hablando. Luego, se realiza la selección del sistema que se adecua a los requerimientos planteados por el proyecto. Posteriormente, se establecen y mejoran las etapas del sistema propuesto. Además, es incorporada la utilización de un Controlador lógico programable (PLC) para el control de las bombas de la planta preliminar de tratamiento de aguas servidas.

Adicionalmente, se opta por desarrollar una solución en base al mejoramiento de las actuales instalaciones de tratamiento biológico sin necesidad de realizar mayores obras civiles para ampliar la capacidad de proceso de la planta. Para lograr las capacidades de proceso, se modifica el concepto de tratamiento biológico, incorporando un tratamiento preliminar compuesto de los procesos unitarios de separación de sólidos finos, desarenado y desengrasado y la homogenización del caudal de tratamiento mediante la implementación de un estanque equalizador.

Con la utilización del controlador lógico programable, se puede controlar la apertura y cierre del sistema, el arranque y paro de las bombas que impulsan el agua tratada del tanque de almacenamiento a un tanque de elevación mediante señales enviadas por la instrumentación de nivel (sensor de nivel ultrasónico).

Este tipo de sensor de nivel ultrasónico, introduce una onda sónica en la trayectoria del fluido de tal forma que dicha onda viaja alternativamente en el sentido del flujo en una dirección y se refleja en el sentido contrario a la dirección del flujo. Con esta nueva tecnología, se vuelve más eficiente el sistema de medición del agua dentro de los estanques, lo que hace que las bombas actúen con eficacia, ya que este indica precisamente cuántas bombas actúen para el caudal de agua que se encuentre en los estanque de la planta de tratamiento de agua servidas.

En forma paralela, se profundiza en el funcionamiento de los elementos que componen los circuitos de fuerza y control, se muestran los diagramas de control y fuerza del sistema preliminar de sistema de aguas servidas del aeropuerto AMB, diagramas que se realiza con el software Autocad Electrical versión 2016. También, para realizar la programación del controlador lógico programable se utiliza el software Aurora LE versión 2.0, este software facilita la realización de la programación Ladder que son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales.

Sumado a lo anterior, se efectúa un análisis técnico del proyecto de la planta preliminar de las aguas servidas, se realiza justificación de protecciones del sistema, se incorporan partidores suaves para las bombas de mayos potencia, se calcula el factor de potencia para realizar la corrección de este con un banco de condensadores o condensadores individuales y se establecen los conductores a utilizar en el proceso preliminar de la planta.

Por último, se realiza una evaluación económica, en la cual se busca identificar los costos de los elementos y herramientas a usar en la ampliación del proceso preliminar de la planta de agua servidas del aeropuerto Arturo Merino Benítez. De este modo, los precios son comparados, dejando los más económicos. También, se adicionan los gastos de mano de obra para realizar este proyecto.

Objetivos generales

- Modernización planta de tratamiento de aguas servidas, realizando levantamiento del sistema ya existente y verificando cuales cambios son necesarios para dicho propósito

Objetivos específicos

- Estudiar la aplicación de las bombas.
- Definir conceptos necesarios para el proyecto.
- Evaluar y comparar los distintos sistemas a utilizar.
- Analizar y evaluar los aspectos técnicos y económicos de la ampliación de las plantas.

1 Presentación del proyecto

En este proyecto, se estudiará la ampliación de la planta de tratamiento de aguas servidas, verificando que cambios son necesarios para dicho propósito, por ejemplo, utilizando nuevas bombas de elevación, bombas de recirculación, partidores suaves, variadores de frecuencia, PLC. También, se utilizarán instrumentación como sensores de flotación, sensores ultrasónicos. Finalmente, se realizará el estudio económico del proyecto.

1.1 Antecedentes del proyecto

A continuación, se presenta la ubicación geográfica del aeropuerto, sus plantas y especificaciones técnicas de los sistemas que posee en la actualidad.

1.1.1 Localización

El Aeropuerto Arturo Merino Benítez se ubica en la Región Metropolitana de Santiago, Comuna de Pudahuel, aproximadamente a 14 km. al norponiente del centro de Santiago,

En las imágenes Figura 1-1 y Figura 1-2, se puede ver la ubicación del aeropuerto y una vista satelital de sus instalaciones.



Figura 1-1: Mapa de ubicación del Aeropuerto (fuente: <http://www.bnamericas.com>)



Figura 1-2: Vista satelital del Aeropuerto AMB (fuente: <http://www.mop.cl>)

En las Figura 1-3 y Figura 1-4, se presenta la situación actual y futura del Aeropuerto, el que consta de la siguiente infraestructura:

- Edificio terminal
- PTAS
- Estacionamientos públicos
- Hotel
- Pistas, etc.

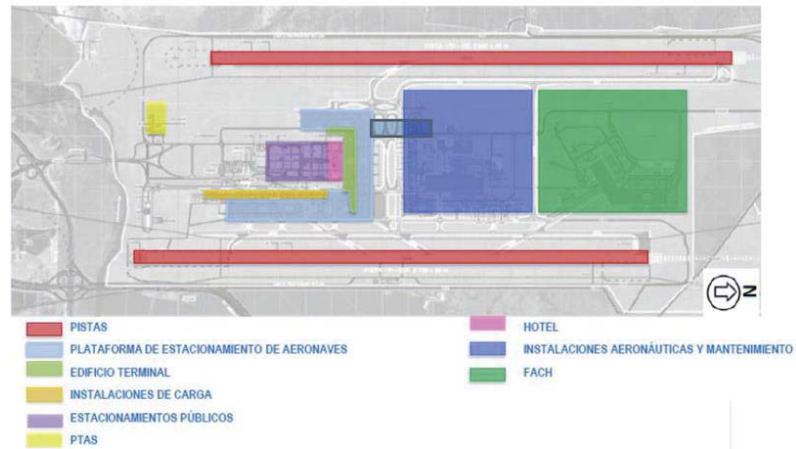


Figura 1-3: Situación actual Aeropuerto (fuente: <http://www.mop.cl>)

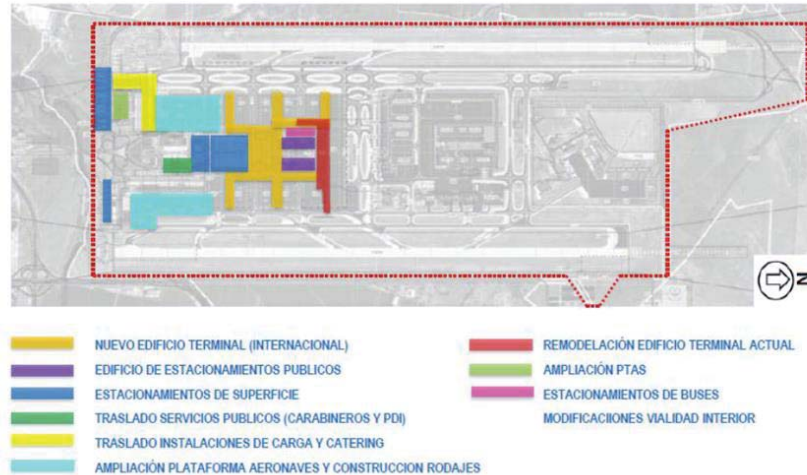


Figura 1-4: Obras proyectadas (fuente: <http://www.mop.cl>)

1.1.2 Especialidad eléctrica

La Subestación actual tiene una capacidad de 4500 kVA de respaldo y un empalme de 6 MW.

1.1.3 Especialidad sanitaria

La actual Planta de Tratamiento de Aguas Servidas del Aeropuerto de Santiago AMB, corresponde a un sistema de tratamiento biológico convencional, basado en el proceso de Lodos Activados, en la modalidad de aireación extendida o baja carga. La configuración del sistema existente responde a la tecnología desarrollada y patentada por AERO MOD (USA), la cual en Consorcio con la empresa constructora BELFI se adjudicaron la construcción de la PTAS.

El flujo de aguas servidas provenientes de las distintas dependencias del aeropuerto es recibido a través de una tubería de drenaje de 800 mm., la que llega a la Planta a una profundidad de aproximadamente 6 m. Se almacena adecuadamente en la Cámara de Bombas, en cuya entrada existe un canastillo para la separación de sólidos gruesos, las que son retiradas en forma manual mediante un tecla de levante. En dicha Cámara, existen cuatro bombas eléctricas sumergibles que transportan las aguas servidas hacia la Cámara de Rejas para la separación de sólidos finos.

El flujo de Aguas Servidas provenientes de los aviones, se descargan a vehículos acondicionados al efecto y conducidos a las Cámaras de Descarga de aeronaves 1 y 2, ubicadas entre las Cámaras N° 30 y 31 del Plano de Colectores de Aguas Servidas, cercana al edificio de la DGAC, los cuales son incorporados a la Planta de Aguas Servidas para su proceso.

El agua servida cruda de la reja pasa al estanque bioselector, donde se crea un ambiente anóxico que estimula la proliferación de microorganismos propicios para este tipo de tratamientos, con alta tasa de sedimentación, limitando la proliferación de aquellas bacterias difíciles de separar del líquido. Posteriormente, las aguas servidas pasan a los Estanques de Aireación, los que se dividen en un Estanque de Aireación Primaria y dos estanques laterales de Aireación Secundaria. En el estanque de Aireación Primaria, el agua servida es aireada con una alta tasa de transferencia de oxígeno, para que las bacterias comiencen a

degradar la materia orgánica en condiciones aeróbicas. En la salida de este estanque el flujo se divide uniformemente hacia los estanques laterales, donde se completa la remoción de materia orgánica y de nutrientes, principalmente nitrato y fosfato. Desde este momento el agua servida comienza a denominarse Licor Mezclado (aguas servidas más microorganismos), el cual pasa a los Estanques Clarificadores (separados sólido/líquido). Una vez que el licor mezclado entra al clarificador, se dejan sedimentar los sólidos por 4 horas aproximadamente para luego ser aerotransportados, utilizando para ello una campana de succión hidráulica. La inyección de una línea de aire a alta presión levanta los lodos que están en el fondo del estanque, retornándolos al Bioselector, desde donde las bacterias retornan al tratamiento biológico en el estanque de aireación.

El agua clara que está en la parte superior del estanque Clarificador es colectada y enviada a desinfección a la Cámara de Cloración. En este sistema, se usa cloro en estado gaseoso que se dosifica dependiendo del flujo para mantener una concentración constante en el efluente, que puede variar entre los 0,4 y los 0,6 mg/L de cloro.

En los estanques de aireación se producen sólidos debido a la reproducción bacteriana, estos son acumulados hasta cumplir con el límite requerido para un buen funcionamiento, el exceso es desechado hacia el estanque Digestor Aeróbico para que al finalizar el proceso sean retirados del fondo de este y enviados hacia el estanque Espesador de Lodos mediante una bomba que los traslada al Filtro de Banda para su desaguado, el cual está equipado con un pre-espesador, para mayor efectividad. El sistema de alimentación de este proceso incluye polímeros líquidos, cuya cantidad podrá ser ajustada según el nivel de floculación requerido.

Actualmente la PTAS se encuentra procesando un caudal de alrededor de 2.000 m³/d con una carga contaminante que varía entre 200 y 300 mg/l de acuerdo a los antecedentes de operación entregados por el actual concesionario de la PTAS.

En síntesis, la planta de tratamiento de aguas servidas del Aeropuerto AMB para las actuales condiciones de operación se encuentra operando bajo las condiciones de diseño para el período de previsión y que corresponde al año 2012. En virtud de lo anterior, la PTAS debe ser mejorada en cuanto a la operación misma del sistema como a la mejora de procesos unitarios y de equipos.

Para la separación de sólidos medios y posteriormente el tratamiento biológico, el aeropuerto AMB cuenta con Platas Elevadoras de Aguas Servidas (PEAS), ubicadas en el sector de la FACH y PTAS del aeropuerto.

La Planta Elevadora de Aguas Servidas es circular y tiene una altura de 8,70 m y un diámetro de 7,60 m. Su volumen total es 395 m³.



Figura 1-5: Planta de aguas servidas (fuente: <http://www.mop.cl>)

2 Conceptos y elementos del proyecto

En este capítulo, se definen los principales conceptos nombrados a lo largo del proyecto y los elementos que forman parte del tratamiento de aguas servidas.

2.1 Conceptos

2.1.1 Sistemas de control

A medida que el hombre aprende a construir maquinas que no dependen de la fuerza animal o humana, descubre que debe encontrar alguna forma de manejarlas y controlarlas. Los sistemas de control, se han desarrollado para manejar maquinas o procesos, de modo que se reduzca las probabilidades de fallos y obtengan los resultados buscados. Los sistemas de control, se clasifican en sistema de lazo abierto y lazo cerrado, la distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

Los sistemas de control lazo abiertos, son aquellos en que la acción del controlador no se relaciona con el resultado final. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que este pueda ajustar la acción de control.

Los sistemas de lazo cerrado por el contrario usan retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. También, son llamados comúnmente sistemas de control por retroalimentación.

2.1.2 Clasificación de circuitos

Con respecto a la clasificación eléctrica, se encuentra dividida en dos partes que son circuitos de control y circuitos de fuerza.

El circuito de control, es el conjunto de componentes primarios o básicos que no están conectados directamente a la potencia de la máquina, sin embargo, tiene absoluto gobierno (mando o regulación) sobre el circuito de fuerza. Los circuitos de control realizan funciones tales como: arranque, aceleración, regulación, inversión, etc. Los elementos utilizados para regular o gobernar las funciones de una máquina se denominan componentes secundarios de control o maniobra.

Los circuitos de Control pueden ser clasificados en Sistemas Manuales, Semiautomáticos y Automáticos.

- Sistemas de control semi-automático

- Los controladores que pertenecen a esta clasificación utilizan un arrancador electromagnético y uno o más dispositivos pilotos manuales tales como pulsadores, interruptores de maniobra, combinadores de tambor o dispositivos análogos. El control semi-automático, se usa principalmente para facilitar las maniobras de mano y control en aquellas instalaciones donde el control manual no es posible.
- La clave de la clasificación como en un sistema de control semiautomático es el hecho de que los dispositivos pilotos son accionados manualmente y de que el arrancador del motor es de tipo electromagnético.
- El control semi-automático, se caracteriza por el hecho de que el operador debe mover un interruptor o presionar un pulsador para que se efectúe cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento de la máquina o equipo.
- Sistemas de control automático
 - Es una forma de control que se efectúa automáticamente desde cualquier lugar, no es necesario que sea sobre la máquina o equipo. En todo momento el control automático proporciona protección contra sobrecarga o cortocircuito.
 - El control automático, se caracteriza por el hecho de que el operador sólo pulsa un pulsador para que se efectúe cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento de la máquina o equipo, sin que sea necesaria la intervención del operador para que se realicen los cambios programados en equipo.

2.1.3 Pulsadores

Es un interruptor que funciona manualmente para establecer o interrumpir uno o más circuitos de control. Estos circuitos pueden hacer funcionar dispositivos de control magnético tales como arrancadores, contactores, relés, etc.

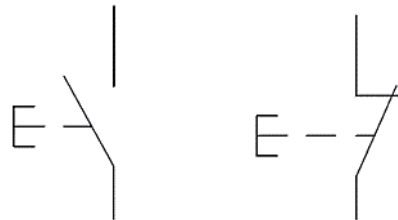


Figura 2-1: Simbología de pulsadores manuales de marcha y parada.

2.1.4 Interruptor de circuito

El interruptor de circuito es un dispositivo que permite interrumpir el curso de la corriente eléctrica.

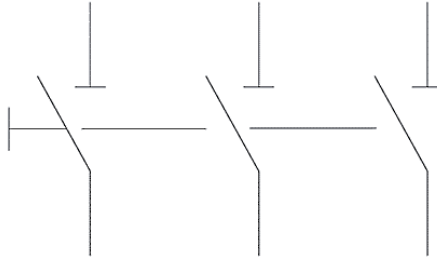


Figura 2-2: Simbología de interruptor trifásico.

2.1.5 Relé

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán.

Las principales ventajas que presentan los relés son la adaptación sencilla a diferentes valores de tensión, insensibilidad ante temperaturas extremas, ya que aseguran un correcto funcionamiento a temperaturas comprendidas entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo de los fabricantes; también permiten conexión de varios circuitos independientes y la separación galvánica entre circuito de mando y de potencia.

- Relé térmico
 - El relé térmico es un dispositivo que permite proteger un circuito de sobre corriente, que pueden ser graduales por problemas de consumo excesivo, fallas a masa no directa, motores con problemas de sobrecarga mecánica, una fase menos en el circuito, etc.
 - Los relés térmicos, se conectan en serie con el circuito, su mecanismo de desconexión automática está basado en el efecto que produce la temperatura en una lámina bimetálica; esta lámina bimetálica al calentarse por efecto de una sobre corriente eléctrica, toma temperatura y como uno de los metales posee una dilatación mayor que el otro, se doblará hacia un lado, volviendo a su posición original al enfriarse. Este movimiento que se produce por el efecto de la temperatura, en los relés térmicos es transmitido por una reglilla móvil hacia un juego de contactos auxiliares trabados mecánicamente. La reglilla al desplazarse libera el vástago que mantiene fijos los contactos y por consiguiente el desenganche de estos, así se produce la apertura o cierre de los contactos. Los contactos auxiliares de los relés térmicos permiten la desconexión del circuito de control en caso de falla por una sobre-corriente en el circuito de fuerza.

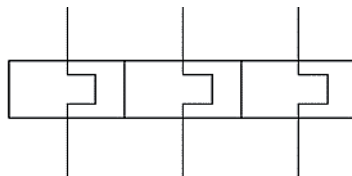


Figura 2-3: Simbología de relé térmico

- Relé termo-magnética
 - Este relé, se utiliza para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas, en sustitución de los fusibles, ya que tiene la ventaja de que no hay que reponerlos, se rearmen de nuevo y siguen funcionando. Estos aparatos constan de un disparador o desconectador magnético, formado por una bobina, que actúa sobre un contacto móvil al sobrepasar la intensidad que la atraviesa su valor nominal. Éste es el elemento que protege la instalación contra cortocircuitos. También poseen un desconectador térmico, formado por una lámina bimetálica, que se dobla al ser calentada por un exceso de intensidad. No podremos volver a rearmar el contactor hasta que no se haya enfriado la lámina bimetálica.

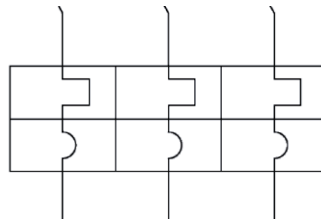


Figura 2-4: Simbología de relé termomagnético

2.1.6 Luces piloto

Para indicar que un equipo está energizado o bien en funcionamiento, se indica por medio de lámparas de pequeña dimensión llamada luces piloto. Cuando el equipo está trabajando se indican los procesos con varias señalizaciones, se ubica un letrero al lado de la luz piloto para indicar que parte o todo el equipo está trabajando.

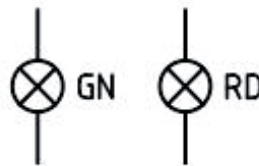


Figura 2-5: Simbología de luces pilotos

2.1.7 Contactor

Los contactores se emplean para el mando local o a distancia de máquinas de cualquier género. Sobre todo se utilizan los sistemas de mando en que la potencia de acoplamiento y la frecuencia de maniobra se plantean severas exigencias, por ejemplo en máquinas y herramientas y laminadores.

Añadiendo relés térmicos se emplean como protectores de motores. Además, el contactor resulta un elemento indispensable en la automatización para el mando de las secuencias de trabajo.

Para el mando de motores, el aparato mayormente utilizado es el contactor electromecánico el cual, es un aparato mecánico de conexión comandado por un electroimán. Cuando la bobina del electroimán está

alimentada, el contactor se cierra, estableciendo por intermedio de los polos, el circuito entre la red de alimentación y el receptor.

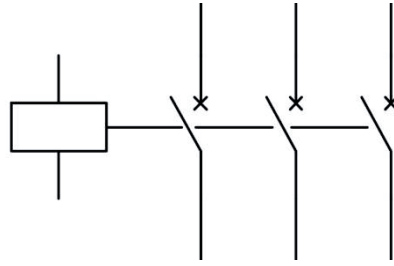


Figura 2-6: Simbología de contactor trifásico

2.1.8 Accionamiento

Un accionamiento eléctrico es un sistema capaz de convertir la energía eléctrica en mecánica, de forma útil y controlando los parámetros implicados, como la velocidad, posición o par.

En todo accionamiento eléctrico se controlará al menos una de estas 3 variables mecánicas:

- Velocidad
- Posición
- Par

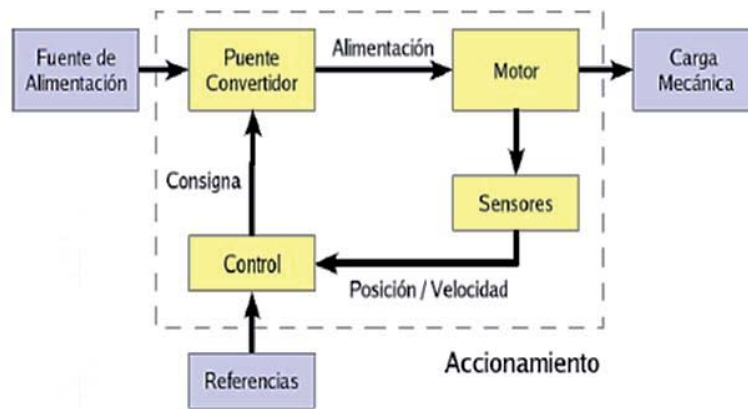


Figura 2-7: Accionamiento (fuente: <http://ocw.unican.es>)

2.2 Elementos

A continuación, se describen los principales elementos que son parte del proyecto de ampliación de la planta de aguas servidas.

2.2.1 Partidor suave

Un partidor suave, contribuye a economizar los costos en los procesos mediante la reducción de esfuerzos mecánicos y eléctricos en los equipos.

Su principio de funcionamiento se basa en el control del ángulo de desfase. Alisando la característica de aceleración y desaceleración se reduce la carga en el motor y se previenen perturbaciones en la maquinaria accionada. En la operación con bombas los partidores suaves eliminan los golpes de presión en tuberías y válvulas cuando se produce la partida y la detención de la bomba, evitando el fenómeno llamado golpe de ariete que es explicado más adelante. El suministro gradual de corriente al motor también elimina los disparos indeseados de las protecciones, corrientes erráticas de alimentación y sobrecalentamientos del motor. Tales medidas correctoras reducen el desgaste de la maquinaria.



Figura 2-8: Partidores suaves (fuente: <http://www.fabelec.cl>)

2.2.2 PLC

Un Controlador Lógico Programable, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.



Figura 2-9: PLC (fuente: <http://www.fatek.com>)

2.2.3 Cables libres de halógeno

Los cables libres de halógenos aportan el máximo de prestaciones en seguridad para las personas y los equipos electrónicos.

Los cables libres de halógenos son obligatorios en los edificios de nueva construcción y locales de pública concurrencia. Entre las ventajas de estos cables eléctricos destacan la resistencia al fuego y una excelente capacidad para no propagar el incendio. Sus aplicaciones están previstas en la norma Chilena eléctrica, que los denomina cables de Alta Seguridad. Las principales características de estos cables son:

1. No propagan el incendio.
2. La emisión de gases tóxicos y halógenos es reducida.
3. Emanan humos no opacos.
4. Emiten gases menos tóxicos.
5. No emiten dioxinas a la atmósfera, al no contener ningún material halogenado.

2.2.4 Controlador de factor de potencia

Relé, regulador o controlador para corrección automática del factor de potencia es un dispositivo electrónico que en conjunto con sensores de corriente, tensión y contactores permite regular el factor de potencia con referencia a un valor programado a través de la conexión y desconexión de bancos de condensadores trifásicos.



Figura 2-10: Controlador de Factor de Potencia (fuente: <http://www.disproel.com>)

2.2.5 Control de nivel

Los controles de nivel son dispositivos diseñados para ser utilizados para determinar las condiciones de nivel de líquidos en recipientes, al fin de accionar dispositivos de alarma y control de como válvulas. Existen algunas diferencias en la concepción de los controles de nivel, según se trate de: canales; plantas de tratamiento; tanques de almacenamiento de agua o un embalse.

2.2.6 Medidor ultrasónico

En este tipo de medidor se introduce una onda sónica en la trayectoria del fluido de tal forma que dicha onda viaje alternativamente en el sentido del flujo en una dirección y se refleje en el sentido contrario a la dirección del flujo.

La diferencia de tiempo de ir y venir de la onda es proporcional a la rata de flujo, debido a que la onda de sonido es frenada cuando viaja contra el flujo y acelerada cuando viaja en la dirección de éste.

Dicho de otra forma, la frecuencia de los pulsos sónicos viajando aguas abajo es mayor que la frecuencia de pulsos sónicos viajando aguas arriba, la diferencia entre las dos frecuencias es función directa de la velocidad del flujo y es independiente de la velocidad del sonido.



Figura 2-11: Medidor ultrasónico (fuente: <http://www.veto.cl>)

2.2.7 Tipos de bombas

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

- Bomba de impulsión. Para muchas necesidades de la vida diaria tanto en la vida doméstica como en la industria, es preciso impulsar sustancias a través de conductos, los aparatos que sirven para este fin se conocen como bombas de impulsión. Las bombas impulsoras clasificarse en dos grupos generales:
 - Bombas de desplazamiento positivo. Las bombas de desplazamiento positivo no tienen límite de presión máxima de impulsión, esta presión de salida puede llegar a valores que ponen en peligro la integridad de la bomba si el conducto de escape se cierra completamente. Para garantizar el funcionamiento seguro de ellas, es necesaria la utilización de alguna válvula de seguridad que derive la salida en caso de obstrucción del conducto.
 - Bombas de presión límite. Las bombas de presión límite son aquellas que impulsan el líquido solo hasta determinada presión, a partir de la cual el caudal es cero. Estas bombas pueden funcionar por un tiempo relativamente largo sin averías con el conducto de salida cerrado. Existe en ellas una dependencia generalmente no lineal entre el caudal bombeado y la presión de descarga.



Figura 2-12: Bomba de impulsión (fuente: <http://www.directindustry.es>)

- Bomba dosificadora. Es un tipo de bomba especial que sirve para la correcta dosificación de una sustancia química a una corriente de agua, algún depósito de agua, u otro sistema donde se requiera que la concentración de una sustancia química (cloro, polímeros, metabisulfito de sodio, etc.) se mantenga constante. Existen en el mercado dos tipos de bombas dosificadoras:
 - Bomba dosificadora manual: El operador que trabaja con este equipo, tiene que calcular en base a datos la dosificación correspondiente y ajustar las perillas del equipo hasta dar con la dosificación correcta.
 - Bomba dosificadora digital: Al igual que el anterior, se debe hacer el cálculo de la dosificación necesaria, pero ya no es necesario estar ajustando la bomba, ya que basta con presionar unos botones para calibrar la dosificación correcta de la bomba, siendo esta más exacta.



Figura 2-13: Bomba de dosificadora (fuente <https://www.pgic.cl>)

- Bomba de arena. La bomba de arena puede ser usada para distribuir líquidos de perforación corrosivos que contienen gránulos suspendidos y otros líquidos similares. Estas bombas son las mejores bombas de soporte para eliminadores de arena, lodo, embudos de mezcla, y la bomba purificadora ideal para bombas de lodo.

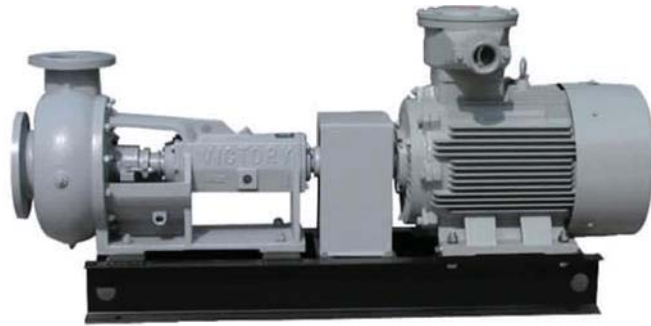


Figura 2-14: Figura Bomba de arena (fuente: <http://www.yaoumachinery.es>)

3 Desarrollo del tratamiento y futuro de la planta de aguas servidas

3.1 Antecedentes

Actualmente la PTAS, se encuentra procesando un caudal de alrededor de 2.000 m³/d con una carga contaminante que varía entre 200 y 300 mg/l de acuerdo a los antecedentes de operación entregados por el actual concesionario de la PTAS.

La planta de tratamiento de aguas servidas del Aeropuerto AMB para las actuales condiciones se encuentra operando con una adecuada capacidad. Sin embargo, para asegurar su operatividad, durante el periodo de previsión, se ha considerado mejorar sus condiciones de diseño, lo que significa una mejora en los procesos unitarios y de los equipos.

Se opta por desarrollar una solución en base al mejoramiento de las actuales instalaciones de tratamiento biológico sin necesidad de realizar mayores obras civiles para ampliar la capacidad de proceso de la planta.

Para lograr las capacidades de proceso, se modifica el concepto de tratamiento biológico, incorporando un tratamiento preliminar compuesto de los procesos unitarios de separación de sólidos finos, desarenado y desengrasado y la homogenización del caudal de tratamiento mediante la implementación de un estanque ecualizador.

3.2 Sistema de tratamiento biológico

El sistema propuesto es similar al de lodos activados convencional y ha sido desarrollado por AGAR[®] (Attached Growth Airlift Reactor). Es el resultado de más de una década de intensa investigación y desarrollo, y se basa en un modelo analítico probado en condiciones reales, que garantiza una mezcla completa e intensiva de los portadores de biomasa dentro del reactor. Esta mezcla, se logra mediante la creación de corrientes producidas por difusores de aire de burbuja gruesa o burbuja fina. La Figura 3-1 muestra las principales características de este sistema.

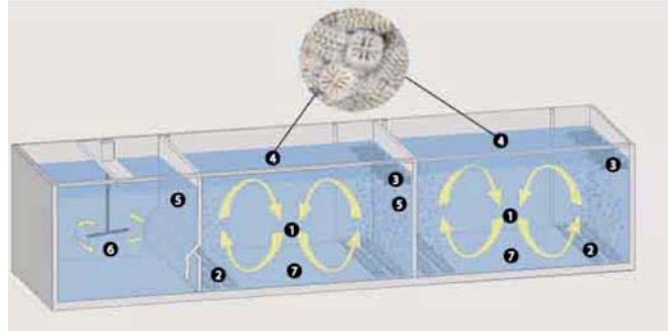


Figura 3-1: Sistema AGAR (fuente: <http://www.mop.cl>)

Leyenda:

1. Patrón de mezcla mostrando corrientes de aire ascendente y descendente
2. Sistema de aireación de burbuja gruesa y fina
3. Pantallas para retención de portadores dentro del reactor
4. Portadores de biomasa suspendidos en el reactor aeróbico
5. Deflectores para crear diferentes etapas. Óptima velocidad de reacción e inoculación de biomasa
6. Reactor de desnitrificación con mezcla mecánica
7. Reactores biológicos rellenos de portadores de biomasa

Este modo de operación presenta las siguientes ventajas:

1. Incrementa la remoción de nitrógeno
2. Optimiza la eficiencia al minimizar el requerimiento de espacio físico
3. Es similar al sistema de lodos activados convencional.

3.3 Descripción del Tratamiento Propuesto

El diseño consta de las siguientes unidades:

1. Separación sólidos gruesos
2. Elevación de agua cruda
3. Desbaste mecánico fino
4. Remoción de arenas y grasas
5. Estanque selector de lodos o bioselector
6. Tratamiento Biológico
7. Clarificador secundario
8. Recirculación de lodos
9. Desinfección
10. Digestión de lodos
11. Deshidratado de lodos

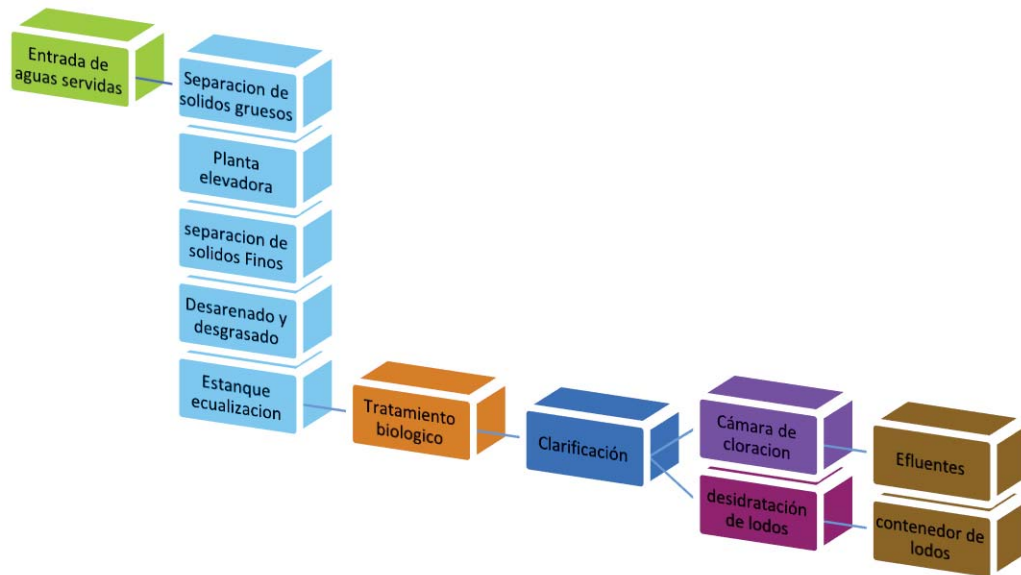


Figura 3-2 : Diagrama de procesos.

3.3.1 Separación de sólidos gruesos

La separación de sólidos gruesos, se realiza mediante un canastillo o reja estática de limpieza manual que se ubica al interior de la Estación Elevadora. La unidad permite retener los sólidos mayores de 70 mm de las aguas servidas que ingresan a la estación de bombeo, protegiendo así las bombas ubicadas en el interior del pozo.

Consiste en un canastillo de rejillas en acero inoxidable, de limpieza manual, con su correspondiente sistema de levante (tecleo, roldana, cuerda y guía) para la extracción del canastillo hacia la superficie para efectuar los trabajos de limpieza.

Los sólidos extraídos son tratados como residuos sólidos y retirados por camión para ser destinados al vertedero municipal.

Las modificaciones a este proceso unitario están relacionadas con la implementación de un nuevo canastillo construido en acero inoxidable AISI 304 con guía y compuerta que permita retener los sólidos cuando el canastillo es extraído por labores de limpieza.

Además, se debe cambiar el tecleo existente por uno eléctrico que permita realizar la limpieza del canastillo en forma continua.

Este proceso unitario requiere un procedimiento de limpieza continuo tantas veces como sea necesario en el día de manera de evitar que los sólidos gruesos sigan el circuito del agua cruda.

3.3.2 Planta Elevadora de Aguas Servidas (PEAS)

Luego que las aguas pasan por el canastillo de retención de sólidos, estas caen al estanque de elevación desde donde son bombeadas hasta la cámara de rejillas para la separación de sólidos medios y posteriormente al Tratamiento Biológico.

La Planta Elevadora es circular y tiene una altura de 8,70 m y un diámetro de 7,60 m. Su volumen total es 395 m³.

El volumen actual de la estación elevadora permite satisfacer las necesidades de diseño del año 2030. Sin embargo, requiere cambiar las bombas existentes por unas de mayor capacidad en el mismo formato que las existentes (3+1, tres en operación y la cuarta stand by) que permitan elevar un caudal de 112 l/s cada una a una presión de 15 m.c.a.

Las bombas operan de forma alternada, sin embargo, si el nivel en el interior de la cámara sobrepasa una cierta cota, pueden operar tres bombas en paralelo, quedando la cuarta en stand-by.

Otra modificación a realizar en la estación elevadora es cambiar los sensores de nivel existente por un sensor de nivel ultrasónico.

Las PEAS, se ubican en el sector Norte. Una de ellas para las Aguas Servidas de la FACH.

3.3.3 Separación de Sólidos Finos

La reja mecánica existente no permite satisfacer las necesidades para las condiciones de operación del año 2030.

Es por esto que, se proyecta la construcción de una nueva cámara de rejillas, la cual se define para el periodo de previsión.

Tabla 3-1: Características de Cámara de rejillas

Parámetros	Unidad	Valor
Largo	m	5
Ancho	m	1,5

La cámara de rejillas tendrá un canal doble, donde en el canal paralelo, se instalara la actual reja que quedara stand by. Esta operación se realiza una vez instalada la reja proyectada.

La operación de una u otra reja se logra mediante compuertas manuales, ubicadas en cada canal. Esta unidad se encuentra ubicada posterior a la cámara de alivio y anterior al desarenador, formando parte de la estructura del tratamiento preliminar.

3.3.4 Desarenado, Desgrasado y Clasificado de Arenas

Para la remoción de las arenas y grasas, se propone una única unidad, construida en hormigón, por sobre la cual circula un puente móvil automático que hacen el retiro conjunto de las arenas depositadas en el fondo de esta unidad y las grasas acumuladas en la superficie.

Tabla 3-2: Características de Desarenador, Desgrasador

Parámetros	Unidad	Valor
Largo	m	17
Ancho	m	5

El dimensionamiento de los desarenadores, se basa en la diferencia de peso específico existente entre los sólidos orgánicos e inorgánicos, para conseguir la separación de estos últimos.

Consiste en establecer la condición, tal que, se deposite la arena, mientras que la materia orgánica que pueda sedimentar sea arrastrada y puesta nuevamente en suspensión.

Este opera, a través, de un canal de acceso de sección rectangular, controlado por compuertas manuales que permiten la entrada del residual a los desarenadores- desgrasadores. En la cabecera de esta unidad, se encuentran 10 difusores de burbuja fina con los cuales se genera una turbulencia de entrada que propicia una mejor separación de las grasas.

Desde la cámara de derivación ubicada en esta misma obra civil y anterior al desarenado-desgrasado, existe una tubería de by-pass, la cual, por medio de válvula y el cierre de las compuertas manuales de los desarenadores - desgrasadores, redirecciona el flujo hacia la siguiente etapa. De esta forma se facilita cualquier tipo de mantención en el interior del desarenador - desgrasador, sin interrumpir el continuo paso del agua residual a los demás órganos de tratamiento.

Las arenas y grasas acumuladas son retiradas por un puente móvil. Tal puente recorre la extensión del canal, retirando las arenas depositadas en el fondo, llevándolas a una depresión del canal destinado al acopio de éstas.

El retiro de las arenas acopiadas en esta depresión, se realiza mediante air-lift, o bomba de arenas depositándolas en un clasificador de arenas. Las grasas, a su vez, son retiradas por el mismo puente, el cual las deposita en un canal de depósito. Este canal, que cuenta con una pendiente de 3%, se conecta con un estanque en donde se acopian las grasas y flotantes.

Esta unidad cuenta también, con líneas de desaguado independiente, las cuales depositan el contenido de estas unidades en la estación elevadora de percolados. El caudal que sale del desarenador - desgrasador, a través de un vertedero thompson, es dirigido a la cámara de distribución, desde donde será distribuido a los sedimentadores primarios o derivado a la cámara de contacto como by-pass.

El aire utilizado por los difusores en el desgrasado y el aire para la movilización de las arenas es suministrado por la red e aire principal.

3.3.5 Estanque selector de lodos o bioselector

En el estanque selector, se lleva a cabo la selección de microorganismos, permitiendo que ingresen a la planta, aquellos que alcanzan la máxima eficiencia de remoción de carga orgánica biodegradable, aumentando con creces la sedimentación posterior. Cabe destacar, que se obtiene muy buenos resultados de

eliminación de bacterias filamentosas y bulking por el concepto de incorporarlo a la cabeza del tratamiento biológico. Esta unidad de proceso se mantendrá como se encuentra actualmente.



Figura 3-3: Estanque selector de lodos (fuente: <http://www.mop.cl>)

3.3.6 Tratamiento Biológico

El tratamiento biológico que permita satisfacer las necesidades de proyección del año 2030, consiste en una modificación del actual tratamiento por uno tipo IFAS de acuerdo a lo descrito anteriormente.

La siguiente figura, muestra un esquema del diagrama de proceso propuesto y que modifica el actual sistema de tratamiento.

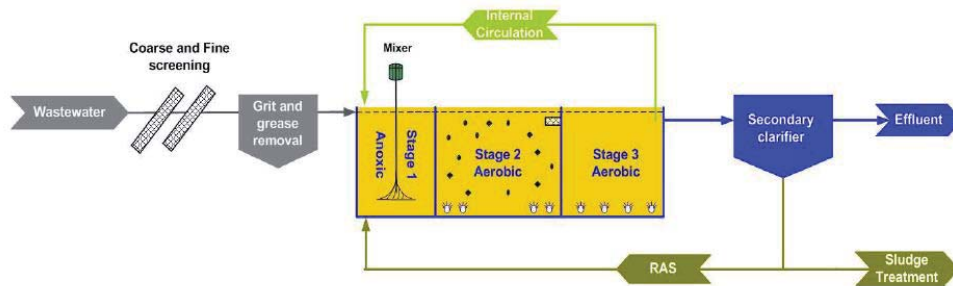


Figura 3-4: Diagrama de proceso propuesto (fuente: <http://www.mop.cl>)

Dicha tecnología, se instalará en el reactor biológico existente con un volumen operativo de 5,160m³.



Figura 3-5: Estanque de aireación o reactor biológico existente (fuente: <http://www.mop.cl>)

3 Desarrollo del tratamiento y futuro de la planta de aguas servidas

El actual reactor biológico de 38 m de largo por 14,85 m de ancho y 4,35 m de nivel de agua será dividido en tres etapas. La primera etapa es un reactor anóxico para la pre-desnitrificación. El mismo se equipará con un mezclador o agitador mecánico.

La división se realiza mediante baffles que se instalan sin ser necesario desocupar el estanque. En figura siguiente se presenta el tipo de baffle a utilizar.



Figura 3-6: Baffles de separación de estanques (fuente: <http://www.mop.cl>)

La Segunda etapa es un estanque aeróbico para la remoción de la DBO y para el proceso de nitrificación. Este reactor, se rellenará con un porcentaje determinado de portadores de biomasa en el primer estanque aireado existente, al ser dividido.



Figura 3-7: Carriers o portadores de biomasa (fuente: <http://www.mop.cl>)

La Tercera etapa es un estanque aeróbico para la nitrificación final, al igual que los estanques aeróbicos secundarios actuales existentes.



Figura 3-8: Estanque lateral del sur (izquierda) y estanque lateral del norte (derecha) (fuente: <http://www.mop.cl>)

3 Desarrollo del tratamiento y futuro de la planta de aguas servidas

La aireación se llevará a cabo mediante tubos difusores de burbuja fina instalados en el fondo del reactor de acuerdo al patrón de distribución requerido. El suministro de aire debe garantizar la mezcla adecuada de portadores.

Se instalarán tubos difusores de aire, los cuales pueden ser instalados sin necesidad de desocupar el estanque y por ende no se requiere detener el proceso de tratamiento.

En la siguiente fotografía, se presenta el tipo de difusores a instalar.



Figura 3-9: Tipo de difusores a instalar (fuente: <http://www.mop.cl>)

Se instalan pantallas a la salida del segundo reactor, para mantener los portadores dentro del mismo mientras que se permite el paso del agua residual aguas abajo. A su vez, estas pantallas se limpian continuamente debido a la mezcla del flujo de agua, burbujas de aire y del propio movimiento de los portadores.

La recirculación interna desde el reactor aeróbico (tercera etapa) hacia el estanque anóxico (primera etapa) asegura una suficiente desnitrificación. La recirculación se realizará con las bombas existentes en la actualidad en la estación elevadora, colocando dos bombas por cada estanque lateral.

El efluente del reactor biológico de la tercera etapa, fluye hacia el clarificador secundario para la separación sólido-líquido.

Se realiza una recirculación de lodos (RAS) desde el clarificador hacia el reactor anóxico de la misma forma que se realiza actualmente mediante Air Lift.

3.3.7 Clarificación o sedimentadores secundarios

En la planta de tratamiento hay dos estanques de clarificadores o sedimentadores secundarios. Cada estanque tiene un ancho de 7,47 m y una longitud de 21,64 m. La profundidad es como en los otros estanques 4,35 m.



Figura 3-10: Sedimentadores secundarios existentes (fuente: <http://www.mop.cl>)

El agua de los estanques laterales entra a los clarificadores por una reja y por una zona de floculación, en la que hay la posibilidad de formar flóculos para alcanzar mejores características de sedimentación en los clarificadores. Por canales de distribución el agua llega a la zona de sedimentación que está al fondo de cada Split-ClarAto y es limitada por dos triángulos con una elevación de 60° para que los sólidos lleguen directamente a la zona de succión hidráulica.

El lodo que está en la zona de succión hidráulica es removido por los airlifts. El líquido claro que está en la parte superior de los clarificadores llega a la tubería colección de efluente que trae el agua hacia la cámara de cloración. En la superficie de los estanques están Skimmers para eliminar los sólidos que están en la superficie. Los Skimmers funcionan según lo mismo principio con el que trabajan los Airlifts y son alimentados por aire de los sopladores.

En general los sedimentadores no sufrirán modificaciones ya que estos están hidráulicamente adaptados para satisfacer la necesidad de proyección del caudal medio del año 2030.

3.3.8 Recirculación de lodos (RAS)

Para el sistema proyectado, se requiere de un caudal de recirculación de RAS equivalente a dos veces el caudal medio para el año de proyección correspondiente al 2030.

Se mantiene la actual configuración de recirculación de RAS.



Figura 3-11: Llegada del RAS al estanque bioselector por un canal de RAS (fuente: <http://www.mop.cl>)

3.3.9 Desinfección en Cámara de Cloración

La cámara de cloración incluye cuatro cámaras separadas por muros de concreto que favorecen un movimiento en serpentín para aumentar el tiempo de contacto y la mezcla entre el cloro y el agua. El nivel del agua en la cámara tiene 4,00 m. Toda la cámara tiene un volumen de 149,04 m³. En la foto siguiente, se aprecia la cámara de contacto.



Figura 3-12: Cámara de contacto y punto de dosificación cloro gas (fuente: <http://www.mop.cl>)

Esta unidad de proceso no requiere de modificaciones, ya que, se encuentra hidráulicamente adaptada para satisfacer la necesidad de proyección del caudal medio del año 2030.

3.3.10 Digestión Aeróbica de Lodos

El digester tiene por objetivo la digestión aeróbica de los lodos purgados del sistema de manera de obtener los estabilizados. Esto significa, la reducción del total del lodo por la conversión de una parte de lodo en productos volátiles.

El estanque digester tiene una longitud de 26,47 m, un ancho de 7,32 m y una profundidad de 4,35 m. Eso corresponde a un volumen de 842,86 m³.

Para el diseño proyectado el lodo tiene un tiempo de retención celular de 10 días, lo que significa que para obtener un lodo estabilizado se requiere un tiempo de retención celular de 25 días.

Esto significa que para un volumen de lodo de 56 m³/día a un 2% de concentración para el año de proyección, no requiere aumentar la capacidad del actual digester de lodos.

La modificación que está sujeta este proceso unitario es el aumento de aire para lograr la digestión completa del lodo. La idea es suministrar el mismo sistema de difusión que se proyecta para los reactores biológicos lo que implica que no se requiere vaciar los estanques para su implementación.

3.3.11 Deshidratado de Lodos

El objetivo de este proceso unitario es desaguar (reducir el contenido de humedad) el lodo hasta un contenido de sólidos mayor a un 18%.

Para efectos de diseño, se estima una producción de lodos del tratamiento biológico proyectado equivalente a 1.100 kg/lodo en base seca, equivalente 6.100 litros a un 18% concentración de sólidos.

4 Análisis técnico

El estudio técnico comprende todo aquello que tiene relación con el funcionamiento y operatividad del proyecto, se determina los equipos, las instalaciones, protecciones, corrección de factor de potencia, control del sistema preliminar de la planta mediante PLC.

4.1 Puntos más importantes de la Norma Eléctrica 4/2003

Esta norma Eléctrica es para instalaciones de consumo en baja tensión. Esta norma tiene por objeto fijar las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en Baja Tensión, con el fin de salvaguardar a las personas que las operan o hacen uso de ellas y preservar el medio ambiente en que han sido construidas.

Su cumplimiento, junto a un adecuado mantenimiento, garantiza una instalación básicamente libre de riesgos; sin embargo, no garantiza necesariamente la eficiencia, buen servicio, flexibilidad y facilidad de ampliación de las instalaciones, condiciones éstas inherentes a un estudio acabado de cada proceso o ambiente particular y a un adecuado proyecto.

A continuación, se presentan las consideraciones más importantes de la norma y que son aplicables a los tópicos de esta investigación.

El capítulo 4 de la norma, nombra diversos términos los cuales son muy importante en esta área eléctrica que se deben tener claro por ejemplo equipo eléctrico, carga, falla, conductor, conector, sobrecorriente, etc.

En el capítulo 5 de esta norma, se habla de la exigencia en las instalaciones, por ejemplo afirma que la tensión de servicio de los materiales o equipos empleados en instalaciones deberá ser a lo menos igual a la tensión nominal del sistema a que la instalación se conecte. Como también, manifiesta que los materiales y equipos que se utilicen en las instalaciones contenidas en el alcance de esta norma deberán ser aptos para funcionar a una frecuencia nominal de 50Hz.

El capítulo 6, describe los tableros que son equipos eléctricos de una instalación, que se concentran en dispositivos de protección y de maniobra o comando, desde los cuales se puede proteger y operar toda la instalación o parte de ella.

El capítulo 7, se compone por los alimentadores, que son aquellos que van entre el equipo de medida y el primer tablero de la instalación, o los controlados desde el tablero general y que alimentan tableros generales auxiliares o tableros de distribución. También, habla de la sección de los conductores de los alimentadores o subalimentadores será tal que la caída de tensión provocada por la corriente máxima que

circula por ellos determinada de acuerdo a lo anterior, no exceda del 3% de la tensión nominal de la alimentación, siempre que la caída de tensión total en el punto más desfavorable de la instalación no exceda del 5% de dicha tensión.

En el capítulo 8, se hace enfoque a los materiales y sistemas de canalización, por ejemplo dice que la sección mínima de un conductor al usar en un circuito de potencia será de 1,5 mm². Además, los conductores de una canalización eléctrica se identificarán según un Código de Colores, declarar su especificación y condiciones de usos por ejemplo nombre de fabricante, sección en mm².

La siguiente tabla del capítulo 7, se usa para el cálculo de conductores para este proyecto.

Tabla 4-1: Intensidad de Corriente Admisible para Conductores Aislados Fabricados según Normas Norteamericanas. Secciones AWG. Temperatura Ambiente de: 30° C. (fuente: <http://www.sec.cl>)

Sección [mm ²]	Temperatura de servicio [°C]					
	60		75		90	
	Tipos TW, UF		Tipos THW, THWN, TTU, TTMU, PT, PW		Tipos THHN,XTU, XTMU, EVA, USE-RHH, USE- RHHM, ET, EN	
	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B
2,08	20	25	20	30	25	35
3,31	25	30	25	35	30	40
5,26	30	40	35	50	40	55
8,37	40	60	50	70	55	80
13,3	55	80	65	95	75	105
21,2	70	105	85	125	95	140
26,7	85	120	100	145	110	165
33,6	95	140	115	170	130	190
42,4	110	165	130	195	150	220
53,5	125	195	150	230	170	260
67,4	145	225	175	265	195	300
85	165	260	200	310	225	350
107,2	195	300	230	360	260	405

126,7	215	340	255	405	290	455
151,8	240	375	285	445	320	505
177,3	250	420	310	505	350	570
202,7	280	455	335	545	380	615
253,2	320	515	380	620	430	700
303,6	355	575	420	690	475	780
354,7	385	630	460	755	520	855
379,5	400	655	475	785	535	885
405,4	410	680	490	815	555	920
456,0	435	730	520	870	585	985
506,7	455	780	545	935	615	1055
633,4	495	890	590	1065	665	1200
750,1	520	980	625	1175	705	1325
886,7	545	1070	650	1280	735	1455
1.013	560	1155	665	1385	750	1560

- Grupo A. Hasta tres conductores en ducto, en cable o directamente enterrados.
- Grupo B. Conductor simple al aire libre. Para aplicar esta capacidad, en caso de conductores que corran paralelamente, debe existir entre ellos una separación mínima equivalente a un diámetro del conductor.

En el capítulo 9, se describen las medidas de protección contra tensiones peligrosas, al accionar un sistema o circuito eléctrico el operador corre el riesgo de quedar sometido a tensiones peligrosas por contacto directo o por contacto indirecto.

El capítulo 12, hace referencia a exigencias generales tales como el dimensionamiento de conductores que la sección mínima de conductor empleado para alimentar motores fijos será de 1,5 mm². Asimismo, habla sobre las protecciones de sobrecarga, los conductores de circuito, los motores y los aparatos de control de motores deben protegerse de sobrecalentamientos debidos a sobrecargas, originadas durante la marcha del motor o provocadas por fallas en la partida. La protección de sobrecarga no protegerá contra cortocircuitos o fallas a tierra.

Todo motor de régimen permanente cuya potencia sea superior a 1 HP debe protegerse contra las sobrecargas, mediante un dispositivo de protección que responda a la corriente del motor. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulado a no más de 1,25 veces la corriente nominal del motor si se

trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 ó, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.

Por último, dice que todos los equipos eléctricos y motores que formen parte de una instalación de fuerza deberán ser de un tipo adecuado al ambiente y condiciones de montaje en que se instalan. Además, todo motor deberá, traer marcada en forma legible e indeleble y colocada en un lugar fácilmente visible, una placa de características con a lo menos los siguientes datos, nombre del fabricante o su marca registrada, Potencia nominal, Factor de potencia a potencia nominal.

4.2 Cálculo de conductores

Existen varios métodos para calcular el calibre de los alimentadores principales de una instalación eléctrica, puede ser a través de la Intensidad de corriente, por caída de tensión y por resistencia de conductores. Puede haber más formas, pero en esta investigación solo se ocupará por medio de corriente y por caída de tensión.

4.2.1 Caída de tensión

La circulación de corriente, a través, de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el reglamento en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable. El cálculo para la sección en un sistema trifásico se obtiene de la ecuación 4.2.1.

$$\text{Sección} = (\rho \cdot L \cdot I) / V_p \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4-1)$$

Donde,

- ρ : Resistividad del cobre
- L: largo del conductor
- I: corriente
- V_p : caída de tensión caída de tensión en el conductor, que según norma no puede ser mayor al 3% de la tensión de alimentación.

Tabla 4-2: Cálculo de conductores por método caída de tensión

Función	Voltaje (V)	Corriente (A)	Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Caída de tensión (V)	Largo (m)	Desde	Hasta	Sección (mm ²)	calibre AWG
Tablero	380	110	1/56	12	25	Tablero eléctrico	caja de conexión 1	4,0923	10
Circuito bomba sumergible n°1	380	27	1/56	12	2,5	caja de conexión 1	Bomba n°1	0,1004	14

4 Análisis técnico

Función	Voltaje (V)	Corriente (A)	Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Caída de	Largo (m)	Desde	Hasta	Sección (mm^2)	calibre AWG
Circuito bomba sumergible n°2	380	27	1/56	12	2,5	caja de conexión 1	Bomba n°2	0,1004	14
Circuito bomba sumergible n°3	380	27	1/56	12	2,5	caja de conexión 1	Bomba n°3	0,1004	14
Circuito bomba sumergible n°3	380	27	1/56	12	2,5	caja de conexión 1	Bomba n°4	0,1004	14
Teclé eléctrico	380	2	1/56	12	3	Tablero eléctrico	teclé	0,0089	14
sensores ultrasónicos	110	0,33	1/56	3,3	27	Tablero eléctrico	sensor	0,0482	14
tablero	380	39	1/56	12	57,68	Tablero eléctrico	caja de conexión 2	3,3475	12
bomba sumergible n°5	380	13	1/56	12	2	caja de conexión 2	bomba sumergible n°5	0,0387	14
bomba sumergible n°6	380	13	1/56	12	2	Caja de conexión 2	bomba sumergible n°5	0,0387	14
bomba sumergible n°7	380	13	1/56	12	2	Caja de conexión 2	bomba sumergible n°5	0,0387	14
Sensor de nivel 2	110	0,33	1/56	3,3	59	Caja de conexión CC2	bomba sumergible n°5	0,1054	14
tablero	380	29	1/56	12	57	Tablero eléctrico	caja de conexión 3	2,4598	14
Rejas finas n°1	380	2	1/56	12	3	Caja de conexión 3	Rejas finas n°1	0,0089	14
Rejas finas n°2	380	2	1/56	12	3	Caja de conexión 3	Rejas finas n°2	0,0089	14
Soplante ecualizador	380	5,2	1/56	12	12	Caja de conexión 3	Soplante ecualizador	0,0929	14

Función	Voltaje (V)	Corriente (A)	Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Caída de	Largo (m)	Desde	Hasta	Sección (mm^2)	calibre AWG
Soplante desgrasado y desarenado	380	5,2	1/56	12	2	Caja de conexión 3	Soplante desgrasado y desarenado	0,0155	14
Clasificador de arena	380	1,5	1/56	12	7	Caja de conexión 3	Clasificador de arena	0,0156	14
Puente móvil	380	2	1/56	12	8	Caja de conexión 3	Puente móvil	0,0238	14
Bomba de arena	380	5,1	1/56	12	10	Caja de conexión 3	Bomba de arena	0,0759	14
Compactador de residuos	380	5,1	1/56	12	2	Caja de conexión 3	Compactador de residuos	0,0152	14

4.2.2 Intensidad de corriente

La intensidad de corriente, se determina dividiendo la diferencia de potencial por la resistencia.

La intensidad máxima admisible, se considera aquella que puede circular por un conductor eléctrico en servicio permanente sin que este sufra daños. Se representa con la ecuación (4-2).

$$I(A) = P / V \quad (4-2)$$

Tabla 4-3: Cálculo de conductores por intensidad de corriente

Función	Corriente (Amper)	Sección (mm^2)	Calibre AWG
tablero	110	26,7	4
Circuito bomba sumergible n°1	27	3,331	12
Circuito bomba sumergible n°2	27	3,331	12
Circuito bomba sumergible n°3	27	3,331	12
Circuito bomba sumergible n°3	27	3,331	12
Teclé eléctrico	2	3,331	12
sensores ultrasónicos	0,33	2,08	14
tablero	39	5,26	10

bomba sumergible n°5	13	2,08	14
bomba sumergible n°6	13	2,08	14
bomba sumergible n°7	13	2,08	14
Sensor de nivel 2	0,33	2,08	14
tablero	29	3,31	12
Rejas finas n°1	2	2,08	14
Rejas finas n°2	2	2,08	14
Soplante ecualizador	5,2	2,08	14
Soplante desgrasado y desarenado	5,2	2,08	14
Clasificador de arena	1,5	2,08	14
Puente móvil	2	2,08	14
Bomba de arena	5,1	2,08	14
Compactador de residuos	5,1	2,08	14

4.2.3 Caída de tensión versus Intensidad de corriente

Respecto a las dos formas de obtener la sección de un conductor, se puede comparar ambas formas y se observa una gran diferencia de secciones, siendo más exacta la de caída de tensión ya que involucra más datos de las cargas y el largo del cable necesario.

Como se ve a continuación una comparación de los cálculos de sección de conductor.

Tabla 4-4: Comparación entre métodos de cálculo de conductores

Función	Caída de tensión		Intensidad de corriente	
	Sección(mm ²)	calibre AWG	Sección(mm ²)	Calibre AWG
Tablero	4,0923	10	26,7	4
Circuito bomba sumergible n°1	0,1004	14	3,331	12
Circuito bomba sumergible n°2	0,1004	14	3,331	12
Circuito bomba sumergible n°3	0,1004	14	3,331	12
Circuito bomba sumergible n°3	0,1004	14	3,331	12
Tecla eléctrica	0,0089	14	3,331	12
sensores ultrasónicos	0,0482	14	2,08	14
tablero	3,3475	12	5,26	10

bomba sumergible n°5	0,0387	14	2,08	14
bomba sumergible n°6	0,0387	14	2,08	14
bomba sumergible n°7	0,0387	14	2,08	14
Sensor de nivel 2	0,1054	14	2,08	14
tablero	2,4598	14	3,31	12
Rejas finas n°1	0,0089	14	2,08	14
Rejas finas n°2	0,0089	14	2,08	14
Soplante equalizador	0,0929	14	2,08	14
Soplante desgrasado y desarenado	0,0155	14	2,08	14
Clasificador de arena	0,0156	14	2,08	14
Puente móvil	0,0238	14	2,08	14
Bomba de arena	0,0759	14	2,08	14
Compactador de residuos	0,0152	14	2,08	14

4.2.4 Conductor a utilizar

El calibre que se utilizaran son los calculados a través del cálculo de caída de tensión ya que es más exacto ese procedimiento. Los números de calibres que se ocuparan son 10 AWG y 14 AWG. El tipo de conductor será un cable subterráneo Superflex.

El cable subterráneo Superflex es recomendado para ser usador en circuitos de alimentación y distribución de subestaciones e instalaciones industriales. Se distingue por su flexibilidad y manejabilidad, que facilitan y ahorra tiempo en la instacion.

Tiene una aislación de XLPE, Polietileno reticulado: Temperatura máxima del conductor 90 °C en servicio permanente. Y una cubierta de PVC, Policloruro de vinilo: Temperatura máxima del conductor 70 °C en servicio permanente. También es un cable libre de halógenos.

Sus condiciones de instalaciones pueden ser en ambientes húmedos o secos, al aire libre, bandejas, ductos o directamente enterrados. Incluso pueden estar sumergidos en agua estanca.

A continuación, un foto de un cable tipo Superflex indicando con numero 1 el cobre, número 2 en la aislación de XLPE y por ultimo numero 3 la cubierta de PVC.

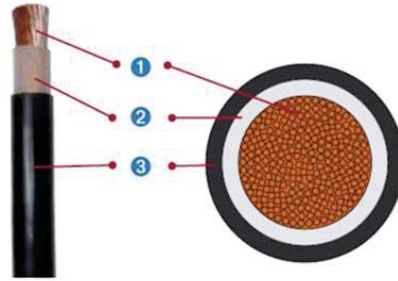


Figura 4-1: Conductor Superflex (fuente: www.gobantes.cl)

4.3 Arquitectura de PLC

El PLC es un dispositivo electrónico digital que tiene una memoria para almacenar programas. Un PLC nos permite utilizar funciones específicas (lógicas, de temporización, de conteo y aritméticas) para implementar un circuito de control.

Con la aplicación de esta técnica, la lógica del circuito de control es determinada por el programa introducido al PLC.

En el gráfico de la Figura 4-2, se muestra el esquema general de un proceso secuencial controlado por un PLC, donde se aprecian algunos de los principales bloques funcionales que lo integran.

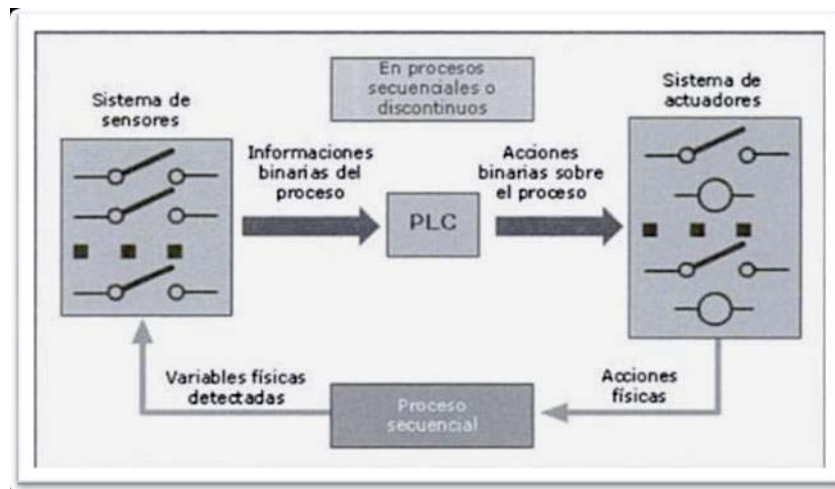


Figura 4-2: Proceso secuencial controlado por PLC (fuente: <https://www.academia.edu>)

Las ventajas en el uso del PLC comparado con sistemas basados en relé o sistemas electromecánicos son:

- Flexibilidad: Posibilidad de reemplazar la lógica cableada de un tablero o de un circuito impreso de un sistema electrónico, mediante un programa que se ejecuta en un PLC.
- Tiempo: Ahorro de tiempo de trabajo en las conexiones a realizar, en la puesta en marcha y en el ajuste del sistema.
- Cambios: Facilidad para realizar cambios durante la operación del sistema.
- Confiabilidad, espacio, modularidad, estandarización.

4.4 Estructura básica de un PLC

Un controlador lógico programable está constituido por un conjunto de tarjetas o circuitos impresos, sobre los cuales están ubicados los componentes electrónicos.

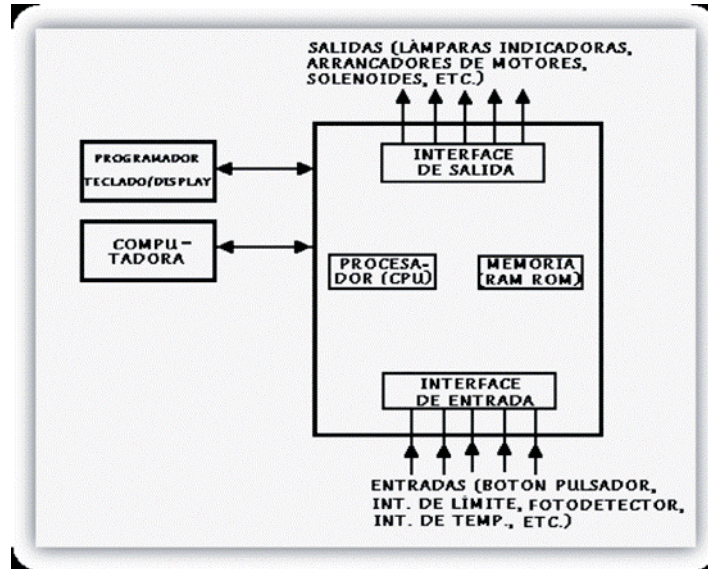


Figura 4-3: Estructura interna de un PLC (fuente: <https://www.academia.edu>)

La estructura básica del hardware de un PLC, propiamente dicho, está constituido por:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento central (CPU)
- Módulos de interfaz de entradas/salidas (E/S)
- Módulo de memorias (RAM /ROM)
- Unidad de programación (teclado display ó PC)
- Comunicación

En algunos casos cuando el trabajo que debe realizar el controlador es más exigente, se incluyen Módulos Inteligentes.

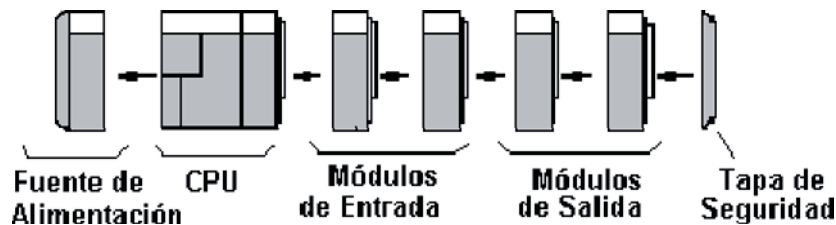


Figura 4-4: Estructura externa de un PLC (fuente: <https://www.academia.edu>)

- Fuente de Poder: Se requiere de una fuente de voltaje para la operación de todos los componentes mencionados anteriormente. Y ésta, puede ser externa en los sistemas de PLC modulares, o interna

en los PLC compactos. Además, en el caso de una interrupción del suministro eléctrico, para mantener la información en la memoria borrable de tipo RAM, como es la hora y fecha, los registros de contadores, etc., se requiere de una fuente auxiliar. En los PLC compactos un "súper-capacitor" ya integrado en el sistema es suficiente, pero en los modulares, es preciso adicionar una batería externa.

- Unidad Lógica Aritmética (CPU): El corazón de un PLC es la Unidad Lógica Aritmética, basada en un microprocesador. Ejecuta las instrucciones programadas en memoria, para desarrollar los esquemas de control lógico que se especifican.

Algunos equipos antiguos implementan la unidad lógica en base a elementos discretos: compuertas NAND, NOR, Flip-Flop y Contadores como máquinas de estado. Este tipo de controladores son Hardwire, versus aquellos que utilizan memorias, denominados Software:

- Unidad de Memoria: La memoria almacena el código de mensajes o instrucciones que ejecuta la Unidad Lógica. La memoria se divide en PROM o ROM y RAM.
- ROM: Memoria de sólo lectura (Read Only Memory). Memoria no volátil que puede ser leída pero no escrita. Es utilizada para almacenar programas y datos necesarios para la operación de un sistema basado en microprocesadores.
- RAM: Memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory). Memoria volátil que puede ser leída y escrita según sea la aplicación. Cualquier posición de memoria puede ser accedida en cualquier momento.

Por medio de ellas, se puede utilizar un PLC en procesos diferentes sin necesidad de readecuar o transformar el equipo; sólo se debe modificar el programa. Para el control de un proceso Batch, se pueden almacenar varias recetas en la memoria y acceder a aquella que interesa.

La PROM o ROM almacena los programas permanentes que coordinan y administran los recursos del equipo. La RAM guarda los programas de aplicación que pueden sufrir modificaciones. Esta memoria es respaldada con baterías, con el propósito de no perder la información al existir cortes de fluido eléctrico. El sistema opera a través de la interacción con el procesador (Unidad Lógica) y la Memoria.

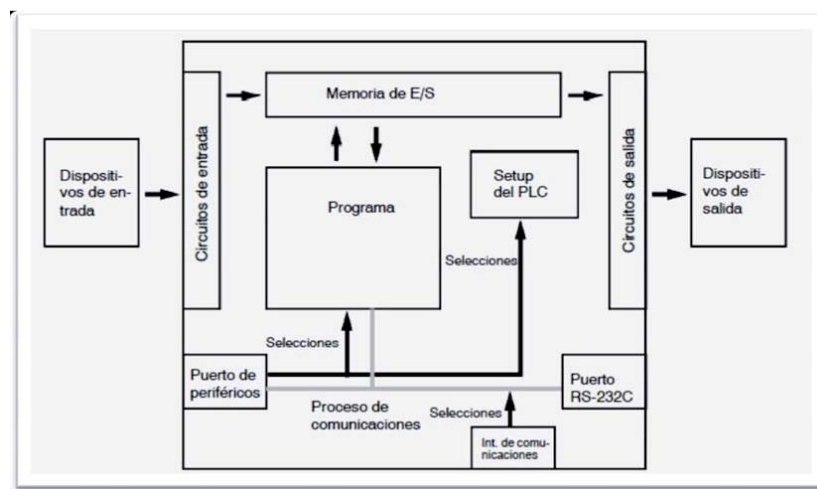


Figura 4-5: Diagrama a bloques de un PLC (fuente: <https://www.academia.edu>)

Cuando se enciende el equipo, el procesador lee la primera palabra de código (instrucción) almacenada en memoria y la ejecuta. Una vez que termina de ejecutar la instrucción leída, busca en memoria la siguiente instrucción y así sucesivamente hasta que se completa la tarea.

Esta operación se llama ciclo de búsqueda-ejecución (FETCH-EXECUTE CYCLE).

- Módulos de Entradas: Proporciona el aislamiento eléctrico necesario y realiza el acondicionamiento de las señales eléctricas de voltaje, provenientes de los switch de contactos ON-OFF de terreno. Las señales se adecúan a los niveles lógicos de voltaje de la Unidad Lógica.
- Módulos de Salidas: Acepta las señales lógicas provenientes de la Unidad Lógica, en los rangos de voltaje que le son propios y proporciona el aislamiento eléctrico a los dispositivos que se conectan con el exterior.

4.4.1 Programación tipo escalera o ladder

Existen distintos tipos de lenguaje de programación de un PLC, quizás el más común sea la programación tipo escalera o ladder. Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones. De esta manera Las principales características del lenguaje ladder son:

- Instrucciones de entrada se introducen a la izquierda.
- Instrucciones de salida se situarán en el derecho.
- Los carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna y 24 V y tierra para los circuitos de CC.
- La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).

El procesador (o "controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha.

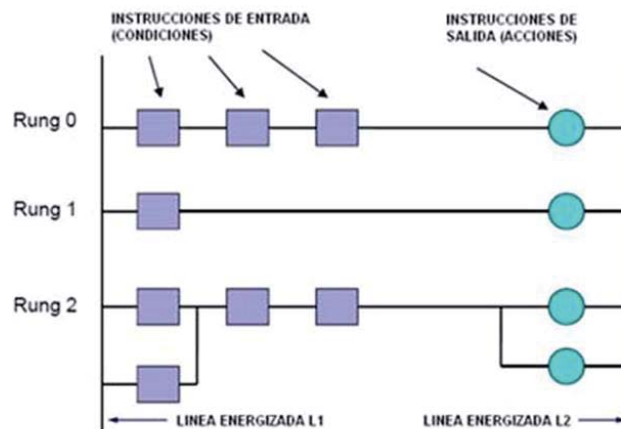


Figura 4-6: Descripción lógica ladder (fuente: <http://www.rocatek.com>)

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no dejar pasar la corriente de una línea a la otra. Estas condiciones, se manejan comúnmente con contactos normalmente abierto o

normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores. Si las condiciones son verdaderas la corriente llega a las instrucciones de salida las cuales generan acciones como energizar la bobina de un motor o energizar una lámpara por ejemplo. De esta forma el paso de la corriente a las bobinas de salida están condicionadas por la lógica que manejen las instrucciones de entradas.

Las conexiones de las señales y estándares de programación varían un poco entre los diferentes modelos de PLC, pero los conceptos son los mismos, así que tanto el cableado de alimentación como la programación son de alguna forma genéricos.

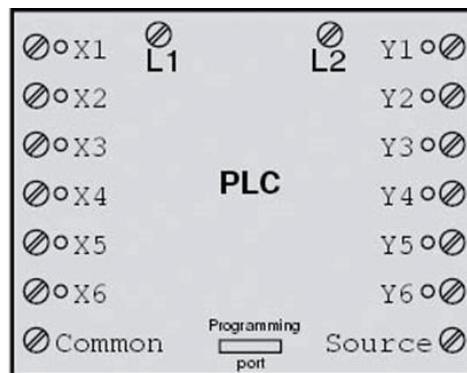


Figura 4-7: PLC genérico. Vista frontal (fuente: <https://www.academia.edu>)

La imagen anterior muestra un PLC simple, como podría parecer desde una vista frontal. Dos terminales de tornillo proporcionan una conexión a 120 volt de corriente alterna para alimentar los circuitos internos del PLC, L1 y L2. Seis terminales de tornillo en el lado izquierdo permiten conectar dispositivos de entrada, cada terminal que representa una entrada diferente "canal" con su propio "X" de la etiqueta. La terminal de tornillo inferior izquierda es un "común" de conexión, que suele ser vinculado a la L2 (neutral) de la fuente de alimentación de 120 VCA.

Para representar como sería la programación del sistema mediante lenguaje Ladder se ha utilizado el software Aurora LE versión 2.0, el cual permite incorporar los principales elementos de control y ejecutar una simulación para verificar la correcta secuencia de comandos.

A continuación en la Figura 4-8 se muestra las 3 primeras líneas del diagrama Ladder, correspondiente al control de marcha y paro del sistema, en el cual cuenta con botones manuales para la marcha y paro de emergencia, así como también una luz verde y roja para indicar cada estado de operación.

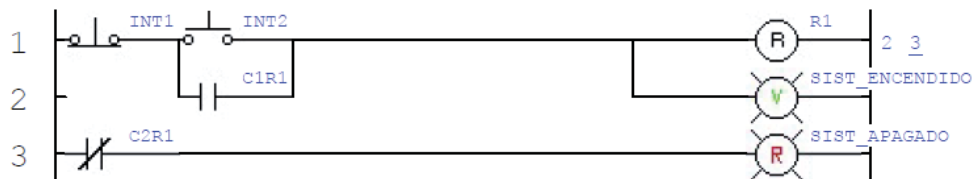


Figura 4-8: Líneas de control de marcha y paro del sistema.

Luego, en la Figura 4-9 se muestran las líneas siguientes que deciden si la señal de nivel del estanque será tomada del sensor ultrasónico o desde los sensores de flotación para el proceso de elevación de la planta.

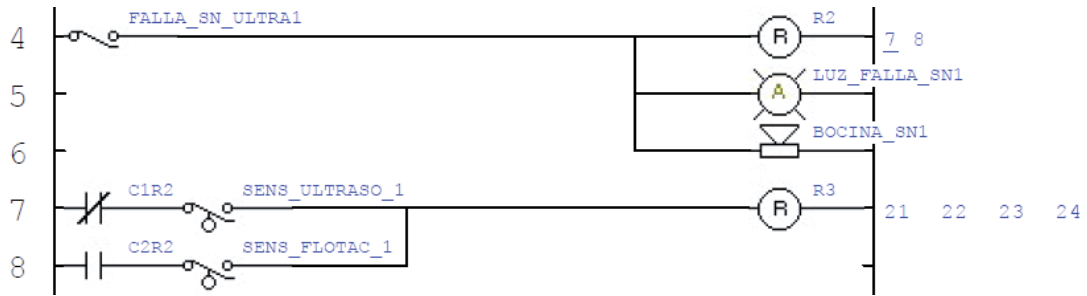


Figura 4-9: Líneas de decisión entre sensor ultrasónico y de flotación.

Continuando con la Figura 4-10, se observan las líneas para decidir que partidior suave será accionado y por consiguiente que bomba funcionará dentro del proceso de elevación de la planta. En la programación del PLC, se debe dar la instrucción para decidir cuantas bombas funcionarán al mismo tiempo dependiendo del nivel del estanque detectado anteriormente.

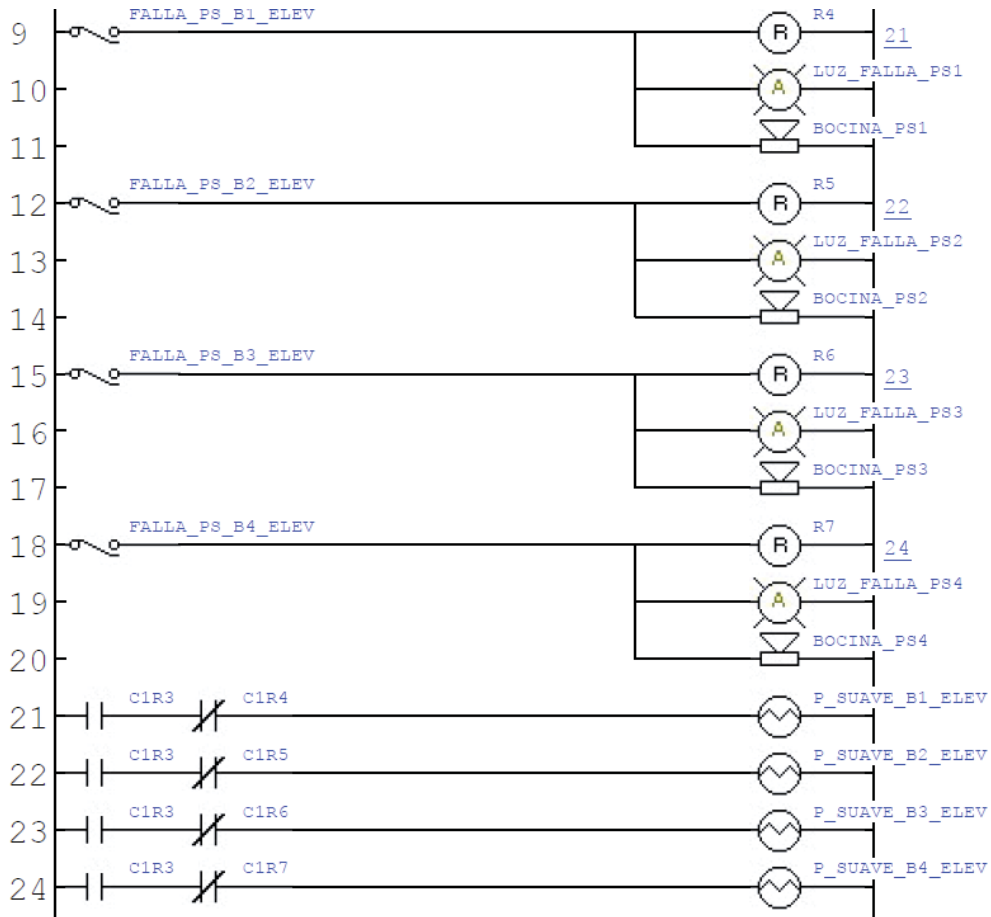


Figura 4-10: Líneas de decisión entre partidores suaves de bombas, etapa elevación.

Posteriormente, en la Figura 4-11 se repite la misma lógica de las líneas de la Figura 4-10, solo que esta vez corresponde al accionamiento de los partidores suaves y bombas de la etapa de elevación.

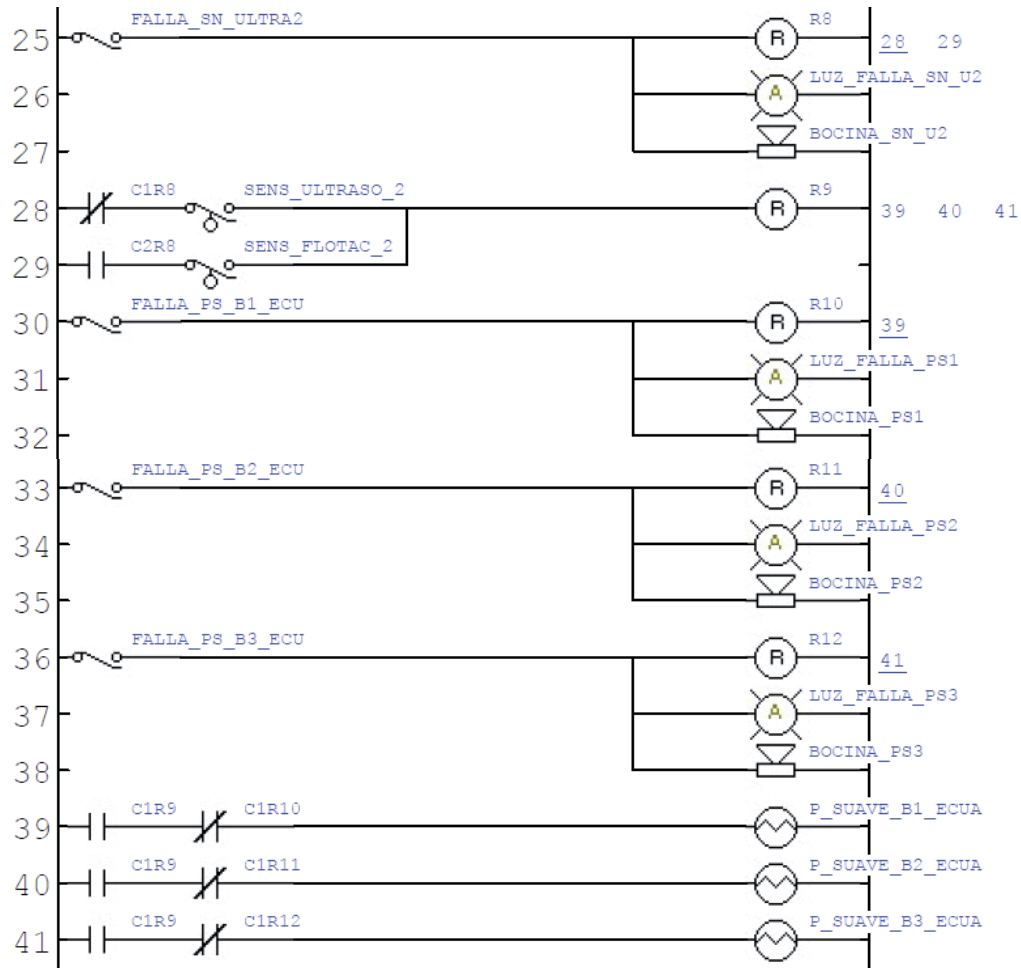


Figura 4-11: Líneas de decisión entre partidores suaves de bombas, etapa eculización.

4.4.2 ¿Qué PLC colocar?

Se escoge un PLC de 32 entradas y 32 salidas, SERIE FX3U compacto, totalmente expandible, de alta velocidad y con sistema de bus doble, diseñado para controlar sin dificultades los sistemas de comunicación, redes, de señales analógicas y de posicionamiento. Este modelo, se caracteriza por una alta eficacia con mayor velocidad, rendimiento, memoria y nuevas funciones. Tiene capacidad de procesamiento y posicionamiento de alta velocidad incorporado.



Figura 4-12: PLC de 32 entradas y 32 salidas a utilizar (fuente: <https://www.rhona.cl>)

4.5 Justificación de protecciones

Según norma SEC todo motor con corriente nominal igual o superior a 3 A, debe tener una protección termomagnético dedicada, como también dice que todo motor de régimen permanente cuya potencia sea superior a 1 HP deberá protegerse, contra las sobrecargas, mediante un dispositivo de protección que responda a la corriente del motor. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulado a no más de 125% la corriente nominal del motor si se trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 o, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.

- Caso 1: Bomba de elevación de 13,5 kW.
 - Corriente = 27 A
 - Factor de potencia = 0,83
 - $27 \cdot 1,25 = 33,75$ A
 - La protección tiene que ser para 33,75 A
- Caso 2: Bomba de 5,9 kW
 - Corriente = 13A
 - $13 \cdot 1,25 = 16,25$ A
 - La protección tiene que ser para 16,25 A
- Caso 3: Otras cargas

En la tabla, se calculó protecciones para la demás cargas multiplicando la corriente por un 125% de la corriente nominal, así sabremos que protecciones colocar para proteger la carga.

Tabla 4-5: Resultados de cálculo para la protección

Carga	Corriente (A)	Protección para (A)
Compactador	5,1	6,4
Bomba de arena	5,1	6,4
Tornillo	3,5	4,4
Bomba de grasa	2,6	3,3
Tecele elevación	2	2,5
Tecele ecualización	2	2,5
Reja	2	2,5
Clasificador	1,5	2

4.5.1 Elección de protecciones a utilizar

Comercialmente se encuentran protecciones marca LEGRAND, para motores más grande de 13,5 kW y de 5,6 kW se le protege con guardamotors tripolares. Para el de 13,5 kW modelo MPX 63 H de 36 A y para el de 5,6 kW modelo MPX 32S de 22 A.



Figura 4-13: Guardamotor marca LEGRAND modelo MPX (fuente: <http://www.legrand.cl/>)

Para las demás cargas, se coloca un interruptor termomagnético marca LEGRAND modelo Dx 6000 de 6 A y 10 A respectivamente.



Figura 4-14: Interruptor térmico marca LEGRAND modelo Dx 6000 (fuente: <http://www.legrand.cl/>)

4.6 Partidores suaves

Los partidores suaves son los arrancadores más avanzados. Ofrecen un control superior de la corriente y el par, e incorporan elementos avanzados de protección de motor.

Las principales ventajas que ofrecen los arrancadores suaves son:

- Control simple y flexible sobre la corriente y el par de arranque.
- Control uniforme de la corriente y la tensión libre de saltos o transiciones.
- Apto para realizar arranques frecuentes.
- Apto para un cambio sencillo de las condiciones de arranque.
- Control de parada suave que amplía el tiempo de deceleración del motor.
- Control de frenado que reduce el tiempo de deceleración del motor.

4.6.1 Funcionamiento de partidor

Su principio de funcionamiento, se basa en el control del ángulo de desfase. Analizando la característica de aceleración y desaceleración se reduce la carga en el motor y se previenen agitaciones en la maquinaria accionada. En la operación con bombas los partidores suaves eliminan los golpes de presión en tuberías y válvulas cuando se produce la partida y la detención de la bomba, también llamado el “golpe de ariete” . El suministro gradual de corriente al motor también elimina los disparos indeseados de las protecciones, corrientes erráticas de alimentación y sobrecalentamientos del motor. Tales medidas correctoras reducen el desgaste de la maquinaria.

El Golpe de ariete, también, llamado choque hidráulico, es el incremento momentáneo en presión, el cual ocurre en un sistema de agua cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad del agua. Cuando una válvula, se cierra repentinamente, detiene el paso del agua que está fluyendo en las tuberías, y la energía de presión es transferida a la válvula y a la pared de la tubería. Las ondas expansivas se activan dentro del sistema. Las ondas de presión viajan hacia atrás hasta que encuentran el siguiente obstáculo sólido, luego continúan hacia adelante, luego regresan otra vez.

Las causas del golpe de ariete son muy variadas. Sin embargo, existen cuatro eventos comunes que típicamente inducen grandes cambios de presión:

1. El arranque de la bomba puede inducir un colapso rápido del espacio vacío que existe aguas abajo de la bomba.
2. Un fallo de potencia en la bomba puede crear un cambio rápido en la energía de suministro del flujo, lo que causa un aumento de la presión en el lado de succión y una disminución de presión en el lado de la descarga. La disminución es usualmente el mayor problema.
3. La abertura y cierre de la válvula es fundamental para una operación segura de la tubería. Al cerrarse una válvula, la parte final aguas debajo de una tubería crea una onda de presión que se mueve hacia el tanque de almacenamiento.
4. Las operaciones inapropiadas o la incorporación de dispositivos de protección de las oscilaciones de presión pueden hacer más daño que beneficio.

4.6.2 ¿Qué partidor instalar?

Existen varios parámetros a tener en cuenta a la hora de dimensionar un arrancador suave entre los cuales sobresalen:

1. Corriente nominal del motor: Es el factor más importante. La selección debe hacerse de acuerdo con la corriente de placa del motor en lugar de la potencia.
2. La aplicación: Una vez establecida la corriente es posible obtener un dimensionamiento preliminar del equipo. Sin embargo, la aplicación determina si se debe usar un arrancador de mayor tamaño para ajustarse a las condiciones de operación.
3. La altura sobre el nivel del mar es otro factor a considerar, sobre todo para el entorno montañoso de la región andina.
4. Frecuencia de maniobra: Usualmente en la industria los equipos son accionados (ciclo encendido - apagado) una o más veces al día. Cuando el número de arranques por hora es alto puede ser necesario aumentar el tamaño del arrancador.

Por lo tanto, para primer caso bombas de 13,5 kW se tiene:

- Voltaje: 380 v
- Corriente: $27 \cdot 1,25 = 33,75$ A

Para el segundo caso, bombas de 5,9 kW se tiene:

- Voltaje: 380 v
- Corriente: $13 \cdot 1,25 = 16,25$ A

De acuerdo a lo anterior comercialmente se encontró partidores suaves AUCOM de 29 a 40 A para las bombas de 13,5 kW y 5,6 kW, modelo EMX3.



Figura 4-15: Partidores suaves AUCOM (fuente: <https://www.rhona.cl>)

4.6.3 Conexión de partidor suave al motor

Los arrancadores suaves, se pueden conectar al motor en configuración directa o en triángulo interno. Al conectar triángulo interno, introducir al corriente del motor a plena carga para parámetro IA. El partidor detecta automáticamente si el motor tiene conexión directa o con triangulo interno y calculara el nivel de corriente de triangulo interno correcto. Los modelos que tiene bypass interno no requieren un contactor de bypass externo. La imagen de a continuación se muestra conexión de partidor suave con bypass interno al motor.

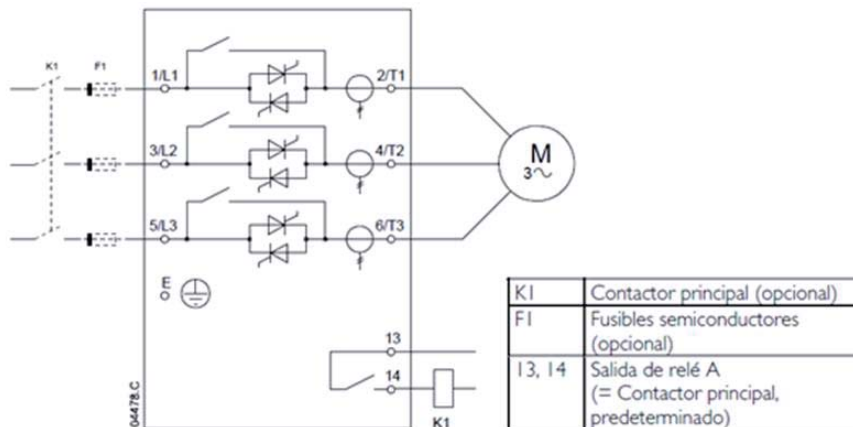


Figura 4-16: Conexión partidor suave a motor (fuente: <http://www.schneider-electric.cl>)

4.7 Factor de potencia

Es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que el valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Considerando lo anterior, el factor de potencia por debajo del 90% significa energía desperdiciada por una empresa, en consecuencia un incremento innecesario en el importe de su facturación por este concepto.

En Chile la normativa obliga a los consumidores, frente a los distribuidores, a no bajar su factor de potencia de 0.93 inductivo. Si no cumplen con dicha normativa, se recarga en 1% de la factura total, por cada centésima que este factor baje de 0.93. De esta forma, si el factor de potencia es de 0.9 se recargará en la factura un 3%.

4.7.1 ¿Cómo corregir su factor de potencia?

Dado que, el bajo factor de potencia se origina por la carga inductiva, que algunos equipos requieren para su funcionamiento, es necesario compensar este consumo reactivo mediante bancos de capacitores y/o filtros de armónicas (Carga lineal y no lineal).

Se pueden manejar tres arreglos para la aplicación de capacitores, los cuales pueden combinarse entre sí según el arreglo que más beneficie en cada caso:

- Compensación individual: Únicamente estaría en servicio cuando opere la carga a controlar.
- Compensación en grupo: Varias cargas de igual capacidad y periodo de trabajo, se pueden compensar con un capacitor en común, en un punto único como un centro de carga.
- Compensación central: Cargas distintas que operan a diferentes períodos pueden ser compensadas, con un banco único de capacitores, conectado usualmente a la entrada de la instalación, el cual mejora el nivel de voltaje pero no reduce las pérdidas.

Para el cálculo de la potencia reactiva Q' en KVAR de un banco de condensadores, se necesita conocer:

- La potencia activa en kW del punto en donde será instalado
- El factor de potencia del punto de ubicación del banco
- El factor de potencia a lograr

En el caso de compensación individual (directamente a la carga), la potencia activa es la del propio equipo (dato de placa), y su factor de potencia se puede obtener por mediciones, o bien, es también entregado por el fabricante.

Para la compensación por grupos, la potencia a utilizar, será la suma de las potencias individuales de cada carga asociada al punto que posean un coseno ϕ menor a 0,93; y el factor de potencia se obtiene por mediciones, o bien, puede ser el más bajo que exista entre todas ellas cuando se conozca el dato por el fabricante.

Al realizar una compensación general (origen de la instalación), la potencia activa a utilizar será la demanda máxima que posea el sistema, respecto a las partes que posean un bajo factor de potencia. El coseno ϕ se obtiene por mediciones, usando el más bajo del conjunto de cargas, o bien, se extrae de la facturación eléctrica emitida por la empresa distribuidora (multa por mal factor de potencia). El factor de potencia a lograr en todos los casos de compensación (individual, grupal, general), debe ser a lo menos, el mínimo permitido, que para nuestro caso es de 0,93. Se recomienda, que el valor elegido sea 0,95.

La fórmula que permite determinar la potencia reactiva capacitiva del banco en todos los casos es:

- $Q' = P \cdot (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$
- Q' : potencia reactiva necesaria del banco de condensadores (KVAR)
- P : potencia activa o demanda máxima del punto de conexión (kW)
- $\tan\phi_1$: tangente del ángulo de inicio
- $\tan\phi_2$: tangente del ángulo final

Los ángulos de inicio y final asociados a las tangentes se obtienen con:

- $\phi_1 = \cos^{-1} \phi_1$
- $\phi_2 = \cos^{-1} \phi_2$

Otra forma de determinar la potencia reactiva del banco de condensadores, especialmente para el caso de compensación grupal, es calculando el valor necesario por cada equipo como en el caso de la compensación individual, y luego sumando las potencias reactivas obtenidas.

Entonces para nuestra planta de tratamiento preliminar tenemos una potencia activa de 82 kW, este total viene de la suma de la planta elevadora de 54 kW, planta ecualización de 18 kW y las demás carga del tratamiento preliminar que tiene una carga de 10 kW. Se pretende corregir el factor de potencia a 0,95.

Ahora se procede hacer el cálculo de potencia reactiva que necesitamos para calcular un banco de condensadores de forma central.

- Para primer caso de 54 kW:

Factor de potencia inicial:

$$\cos \varphi_1 = 0,83 \quad (4-3)$$

Factor de potencia a lograr es:

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \quad (4-4)$$

Luego,

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 0,83 = 33,9^\circ \quad (4-5)$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,2^\circ \quad (4-6)$$

Finalmente:

$$Q' = 54 \cdot (\tan 33,9^\circ - \tan 18,2^\circ) \quad (4-7)$$

$$Q' = 18,54 \text{ kVAR} \quad (4-8)$$

- Segundo caso para potencia de 18 kW

Factor de potencia inicial:

$$\cos \varphi_1 = 0,84 \quad (4-9)$$

Factor de potencia a lograr es:

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \quad (4-10)$$

Luego,

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 0,84 = 32,86^\circ \quad (4-11)$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,2^\circ \quad (4-12)$$

Finalmente:

$$Q' = 18 \cdot (\tan 32,86^\circ - \tan 18,2^\circ) \quad (4-13)$$

$$Q' = 5,6 \text{ kVAR} \quad (4-14)$$

- Último caso potencia de 10 kW:

Factor de potencia menor de todas las cargas iniciales:

$$\cos \varphi_1 = 0,58 \quad (4-15)$$

Factor de potencia a lograr es:

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \quad (4-16)$$

Luego,

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 0,58 = 54,55^\circ \quad (4-17)$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,2^\circ \quad (4-18)$$

Finalmente:

$$Q' = 10 \cdot (\tan 54,54^\circ - \tan 18,2^\circ) \quad (4-19)$$

$$Q' = 10,81 \text{ kVAR} \quad (4-20)$$

La potencia comercial del banco debe ser la inmediatamente superior al valor calculado que exista en el comercio.

Por lo tanto, necesitamos un banco de condensador que obtenga capacitores de 18,54 kVAR, 5,6 kVAR Y 10,81 kVAR, obteniendo una suma de 35 kVAR.

A continuación, se realiza el cálculo de potencia reactiva que necesitamos para calcular un banco de condensadores de forma individual.

- Para primer caso, 4 bombas de 13,5kW:

Factor de potencia inicial:

$$\cos \varphi_1 = 0,83 \quad (4-21)$$

Factor de potencia a lograr es:

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \quad (4-22)$$

Luego

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 0,83 = 33,9^\circ \quad (4-23)$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,2 \quad (4-24)$$

Finalmente:

$$Q' = 13,5 \cdot (\tan 33,9^\circ - \tan 18,2^\circ) \quad (4-25)$$

$$Q' = 4,6 \text{ kVAR} \quad (4-26)$$

Por lo tanto, cada bomba tendrá que ser compensada por un condensador de 4,6 kVAR

- Para segundo caso bombas de 5,9 kW

Factor de potencia inicial:

$$\cos \varphi_1 = 0,84 \quad (4-27)$$

Factor de potencia a lograr es:

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \quad (4-28)$$

Luego,

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 0,84 = 32,86^\circ \quad (4-29)$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,2^\circ \quad (4-30)$$

Finalmente:

$$Q' = 5,9 \cdot (\tan 33,9^\circ - \tan 18,2^\circ) \quad (4-31)$$

$$Q' = 1,86 \text{ kVAR} \quad (4-32)$$

Por lo tanto, cada bomba tendrá que ser compensada por un condensador de 1,86 kVAR

En conclusión para una compensación individual tendría comercialmente comprar condensadores de 1,9 kVAR, 4,7 kVAR. Las demás cargas son muy pequeñas, entonces no se tomaron en consideración para hacer estos cálculos.

4.7.2 Elección de tipo de banco de condensadores a utilizar

Para el caso de compensación central, comercialmente se encuentra un banco de condensador para 35 kVAR de marca LEGRAND, es un banco de condensadores automáticos ALPIMATIC con conmutación electromecánica. Es de 35 kVAR de 400V y tiene pasos de 5+10+20.



Figura 4-17: Banco de condensadores con controlador de factor de potencia (fuente: <http://www.legrand.cl/>)

Un equipo de compensación automático debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir y mantener el factor de potencia estable. Un equipo de compensación automático está constituido por 3 elementos:

- El controlador de factor de potencia: Su función es medir el $\cos \varphi$ de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse a lo más posible al $\cos \varphi$ objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva. Entonces, el controlador de factor de potencia medirá el factor de potencia inicial de la instalación y dará las órdenes a los contactores para intentar

aproximarse lo más posible al $\cos \varphi$ objetivo conectando los distintos pasos de potencia reactiva, evitando de este modo una sobrecompensación o una subcompensación.

- Los condensadores trifásicos: Estos son los elementos fundamentales del banco de condensadores, los que permitirán generar energía reactiva para la corrección del factor de potencia
- Los contactores: Son los elementos que permitirán realizar la conexión o desconexión para que los condensadores entreguen la potencia reactiva necesaria al sistema eléctrico de la planta.

Para el caso de compensación individual, comercialmente, se encontraron condensadores de marca ALPICAN, con un diseño compacto en botella cilíndrica de aluminio, seguridad dual con autoprotección y desconectador de sobretensión. Para tensión de 380 V y 50 Hz. Su potencia de venta es de 1,9 kVAR y 4,7 kVAR, las cuales nos servirían para este proyecto.



Figura 4-18: Condensador ALPICAN (fuente: <http://www.legrand.cl/>)

En conclusión, respecto a qué tipo de compensación se escoge, va a depender del valor económico de la instalación de cada caso, escogiendo el más económico. Este análisis es realizado en el capítulo 5 Costo Económico.

4.8 Diagramas

El diagrama unilineal de fuerza muestra una representación simplificada desde el punto de vista del circuito eléctrico, pero detallada de los dispositivos de fuerza involucrados, con una descripción de los elementos y sus cargas.

Se representa por una línea de alimentación la cual toma energía desde una barra de potencia la que la energía hacia otros dispositivos que la demandan.

El diagrama de procesos es una representación gráfica de los pasos que se sigue en toda una secuencia de actividades, dentro de un proceso o un procedimiento.

A continuación, se muestra diagrama de procesos, luego el diagrama de fuerza unilineal y después el diagrama de fuerza trifásico.

4.8.1 Diagrama de procesos

En este diagrama de proceso se muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones de la planta de aguas servidas del proceso preliminar, desde la llegada del afluente, a una primera esta de sólidos grueso, se

hace una limpieza por el canastillo que se encuentra en la estación elevadora, esto sirve para proteger las bombas ubicadas en su interior. En la segunda etapa, está el estanque de elevación donde se encuentran las 4 bombas de elevación, contiene sensores de flotadores y sensor ultrasónico. Tercera etapa, se encuentran las cámara de rejillas de separación de sólidos finos, con compuertas manuales y automáticas. En la cuarta etapa, se produce la retira de arena y grasa con el puente móvil automático. Por último, se muestra el estanque equalizador, que cuenta con difusores de aire, para eliminar los últimos sólidos, esta agua es elevada a los tratamientos biológicos, cuenta con los sensores de nivel de flotación y ultrasónico, 3 bombas dos en paralelo y 1 stand.by.

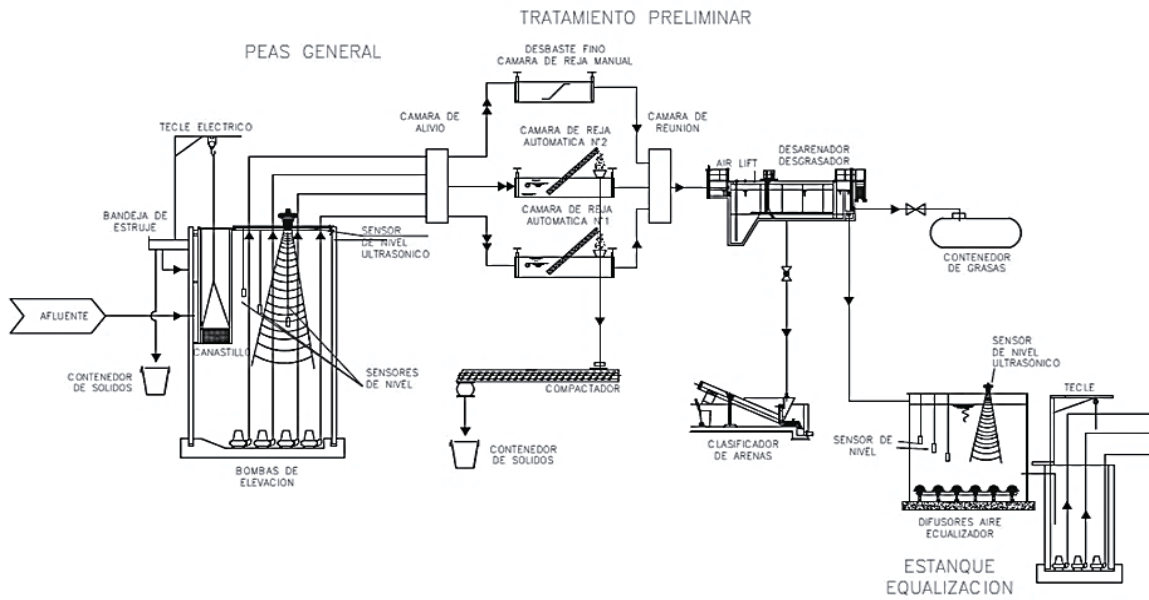


Figura 4-19: Diagrama de proceso - Vista preliminar de la planta de agua servidas.

4.8.2 Diagramas unilineal de fuerza

- A. En este diagrama, se puede ver todas las cargas del proceso preliminar de la planta de agua servidas del aeropuerto AMB. Éste consta con protecciones de guardamotor tripolar y partidores suaves para las bombas de 13,5 kW, 5,9 kW y para las demás cargas consta de un interruptor automático termomagnético. Todas las cargas cuentan con sus respectivos contactores. También, se le agregó la conexión con el banco de condensador para compensar el factor de potencia. El diagrama se puede ver en la Figura 4-20 y en las posteriores se muestra la imagen dividida en tres partes de manera que se puede ver más grande.

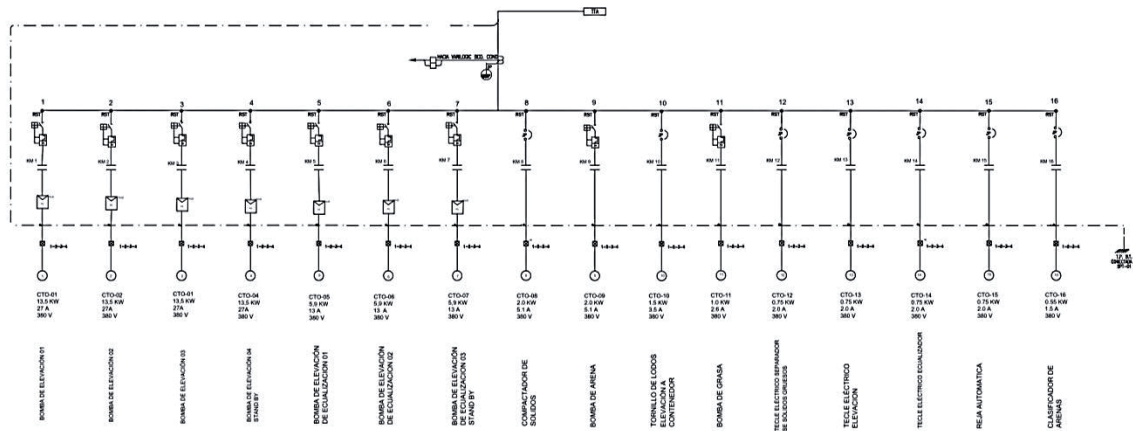


Figura 4-20: Diagrama unilineal de fuerza - Vista completa del dibujo

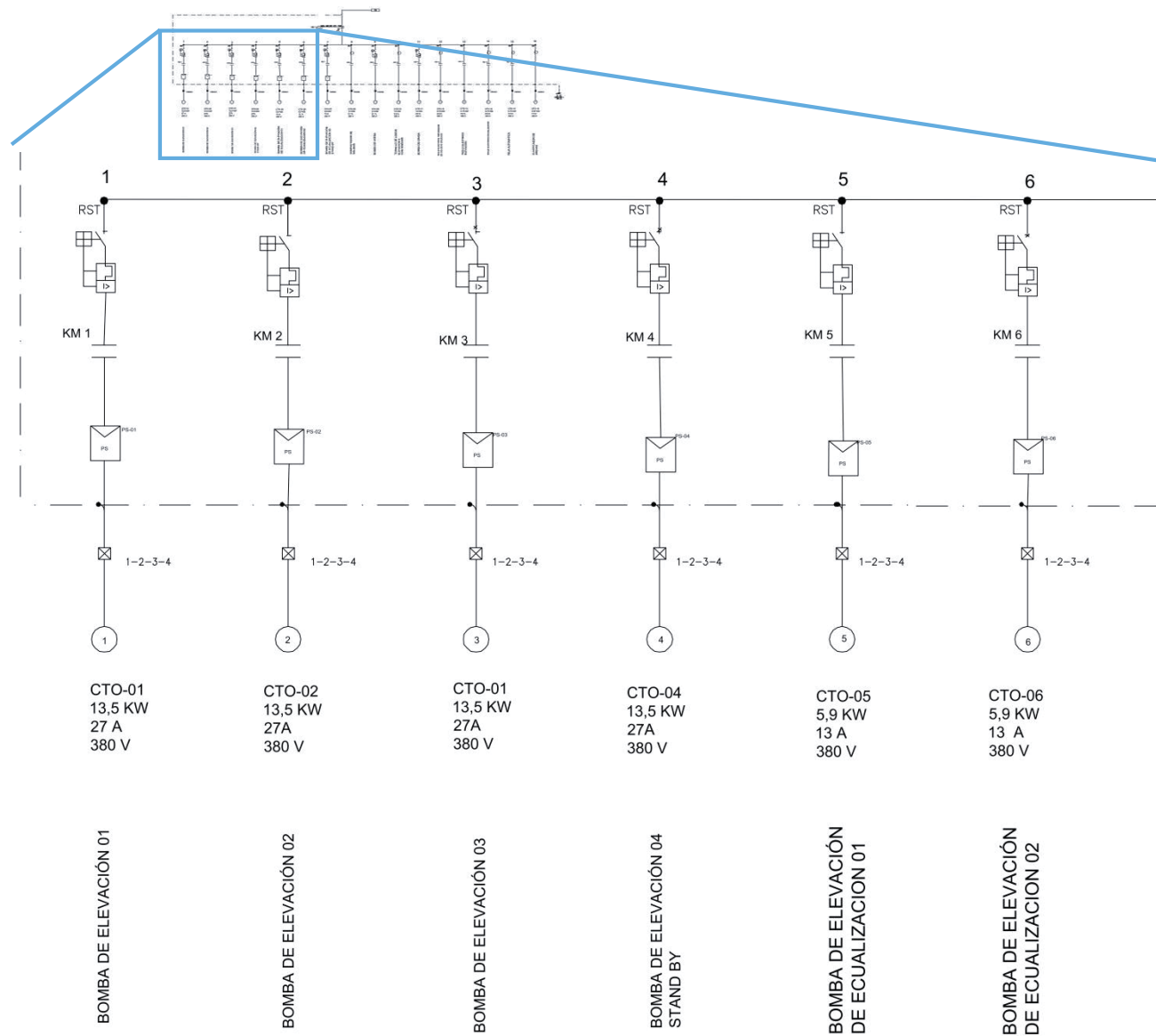


Figura 4-21: Diagrama unilineal de fuerza - Vista con zoom - Parte 1 de 3

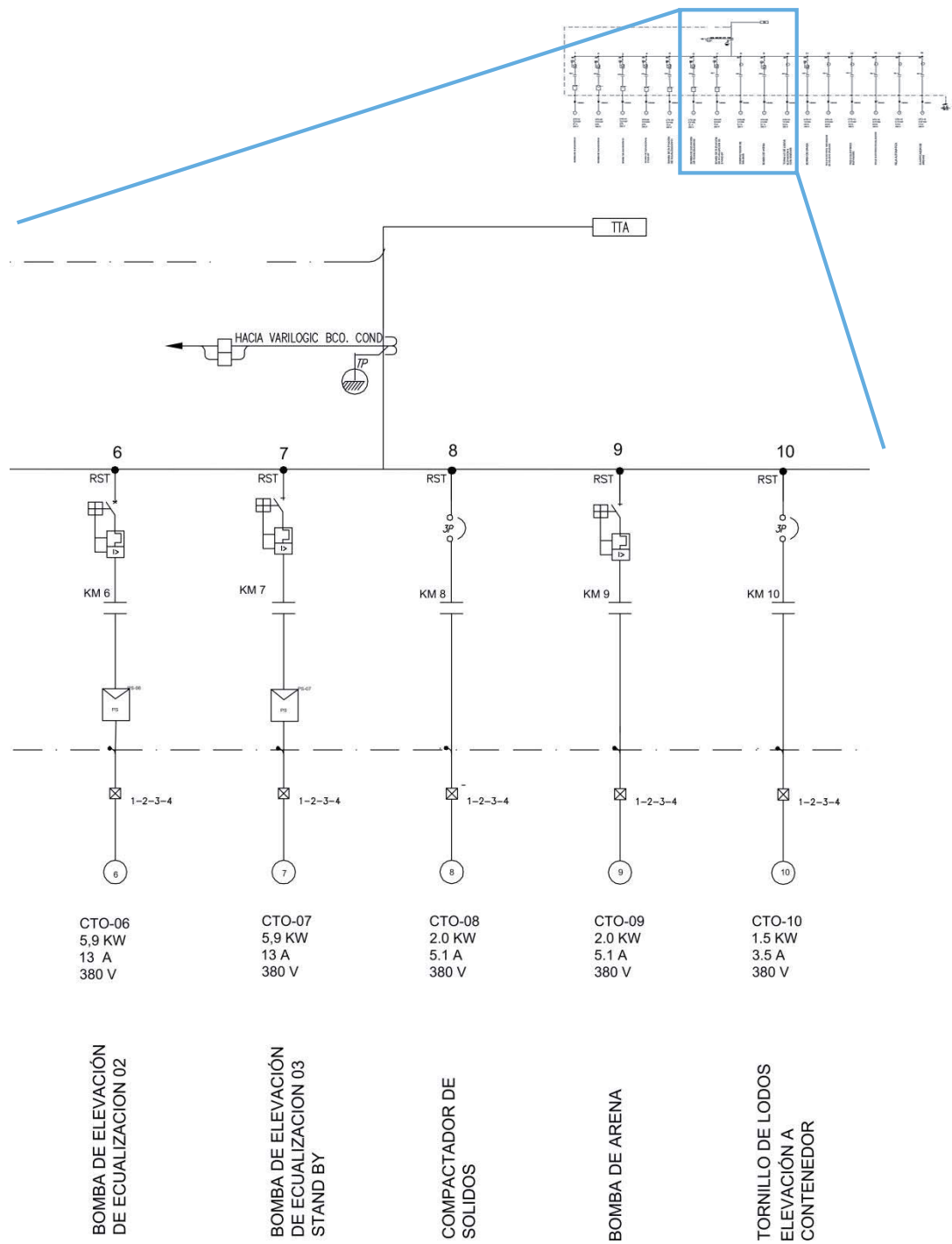


Figura 4-22: Diagrama unilineal de fuerza - Vista con zoom - Parte 2 de 3

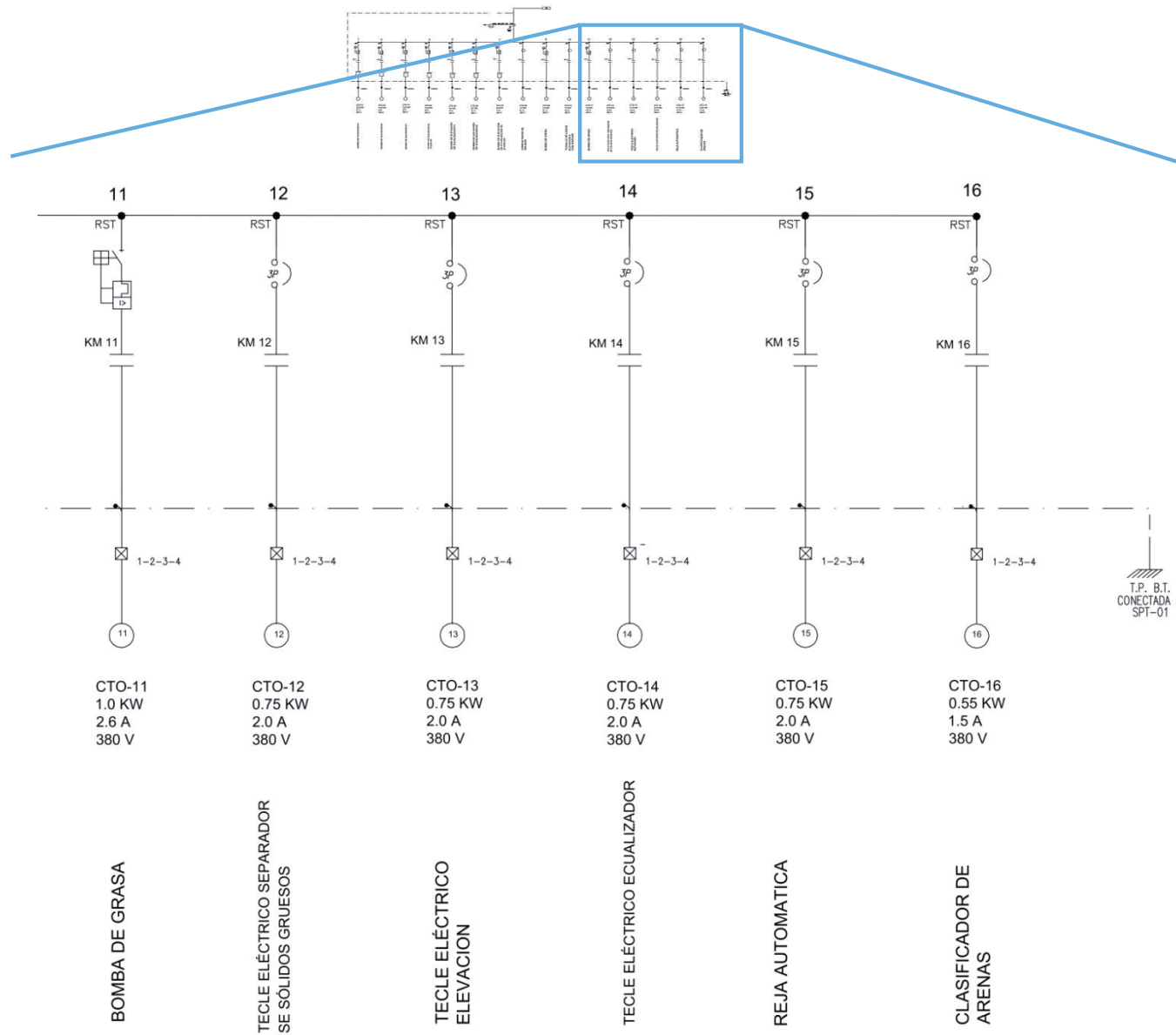


Figura 4-23: Diagrama unilínea de fuerza - Vista con zoom - Parte 3 de 3

B. En este diagrama, se puede ver todas las cargas del proceso preliminar de la planta de agua servidas del aeropuerto AMB. Éste consta con protecciones de guardamotor tripolar y partidores suaves para las bombas de 13,5 kW, 5,9 kW y para las demás cargas consta de un interruptor automático termomagnético. Todas las cargas cuentan con sus respectivos contactores. También, se le agrego la conexión condensadores individuales para compensar el factor de potencia. El diagrama se puede ver en la Figura 4-24.

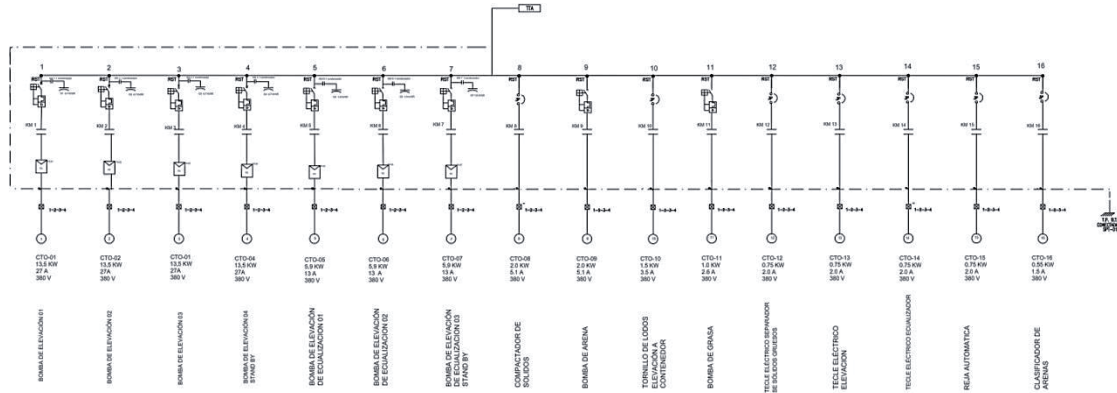


Figura 4-24: Diagrama unilineal de fuerza - Vista completa del dibujo

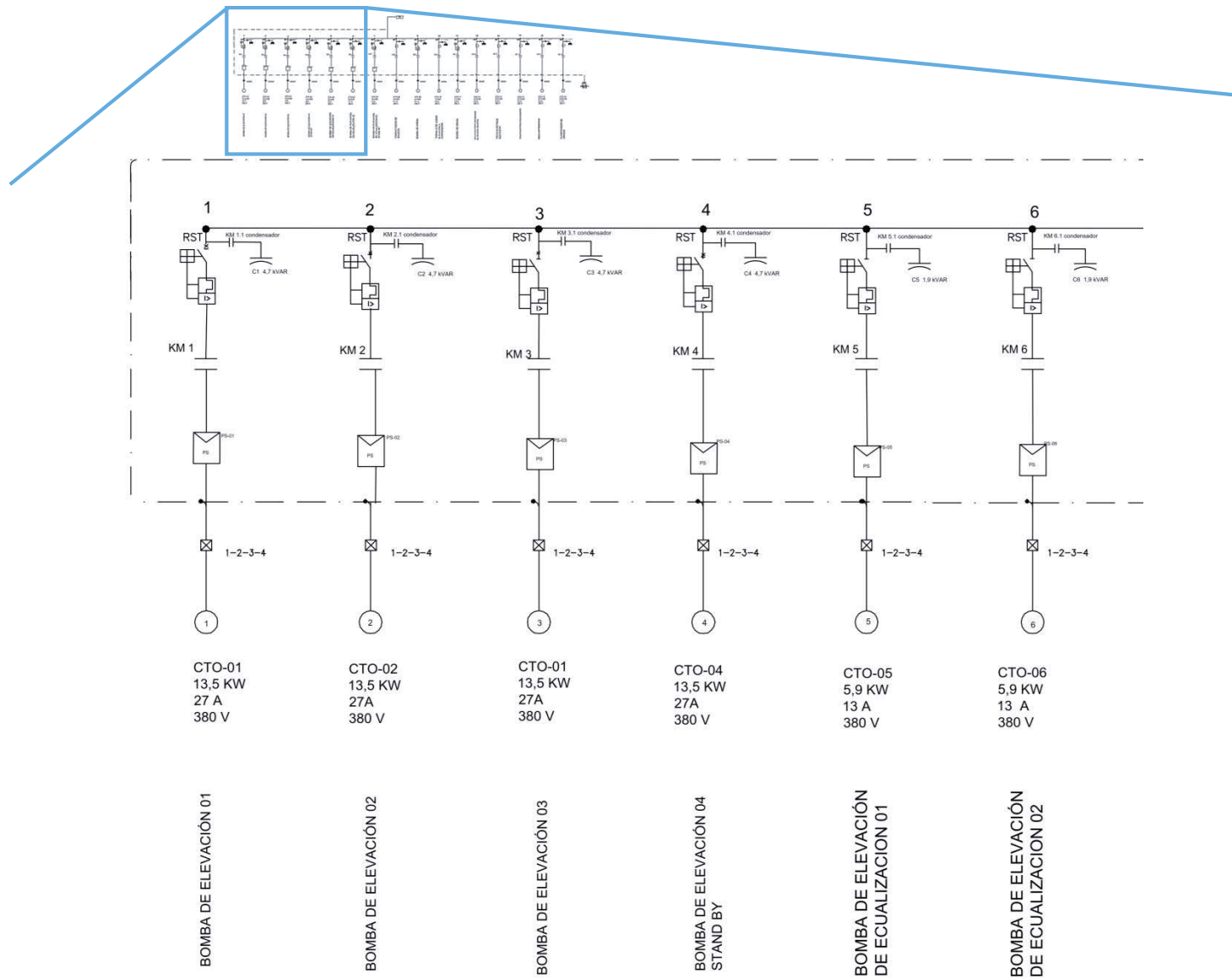


Figura 4-25: Diagrama unilínea de fuerza - Vista con zoom - Parte 1 de 3

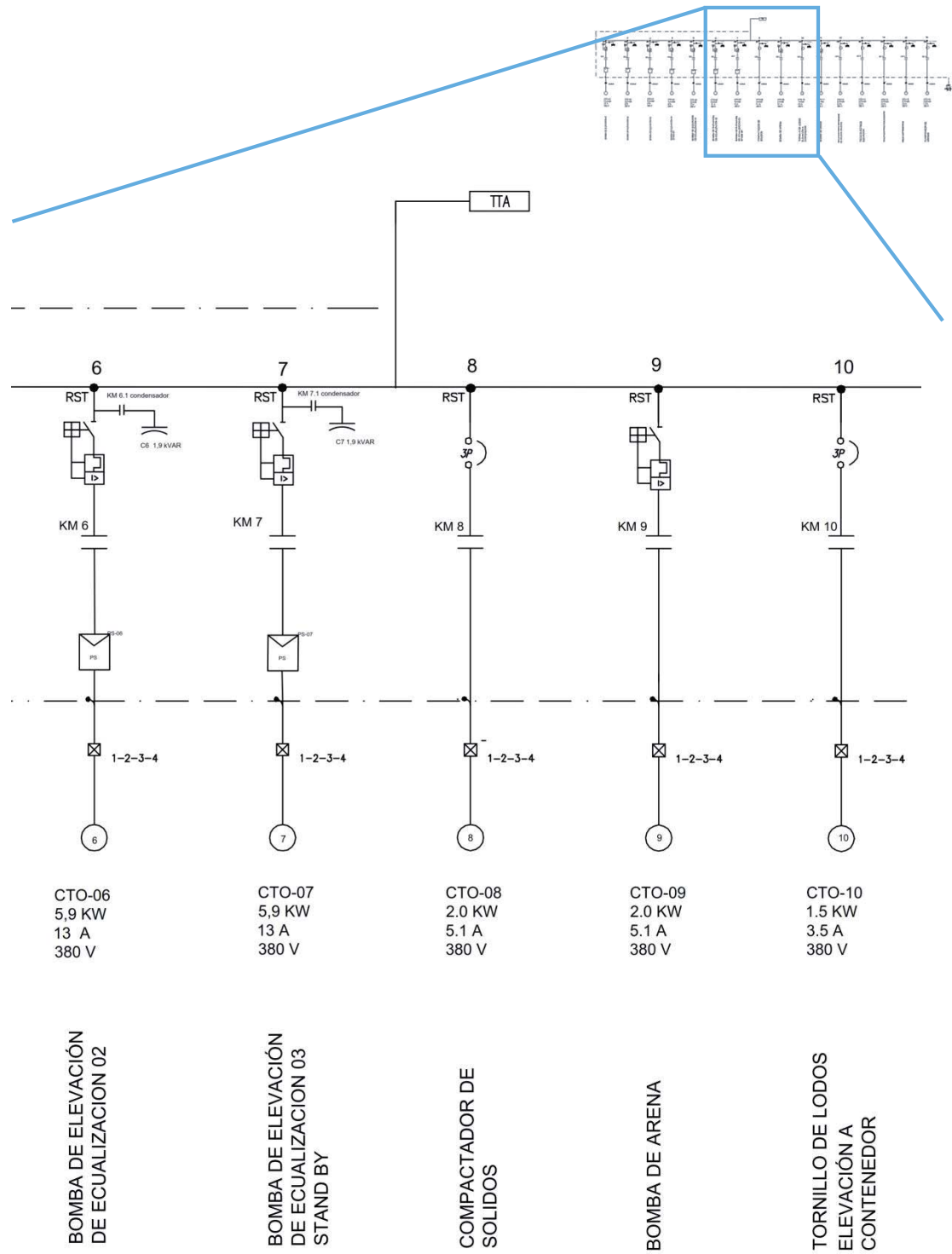


Figura 4-26: Diagrama unilineal de fuerza - Vista con zoom - Parte 2 de 3

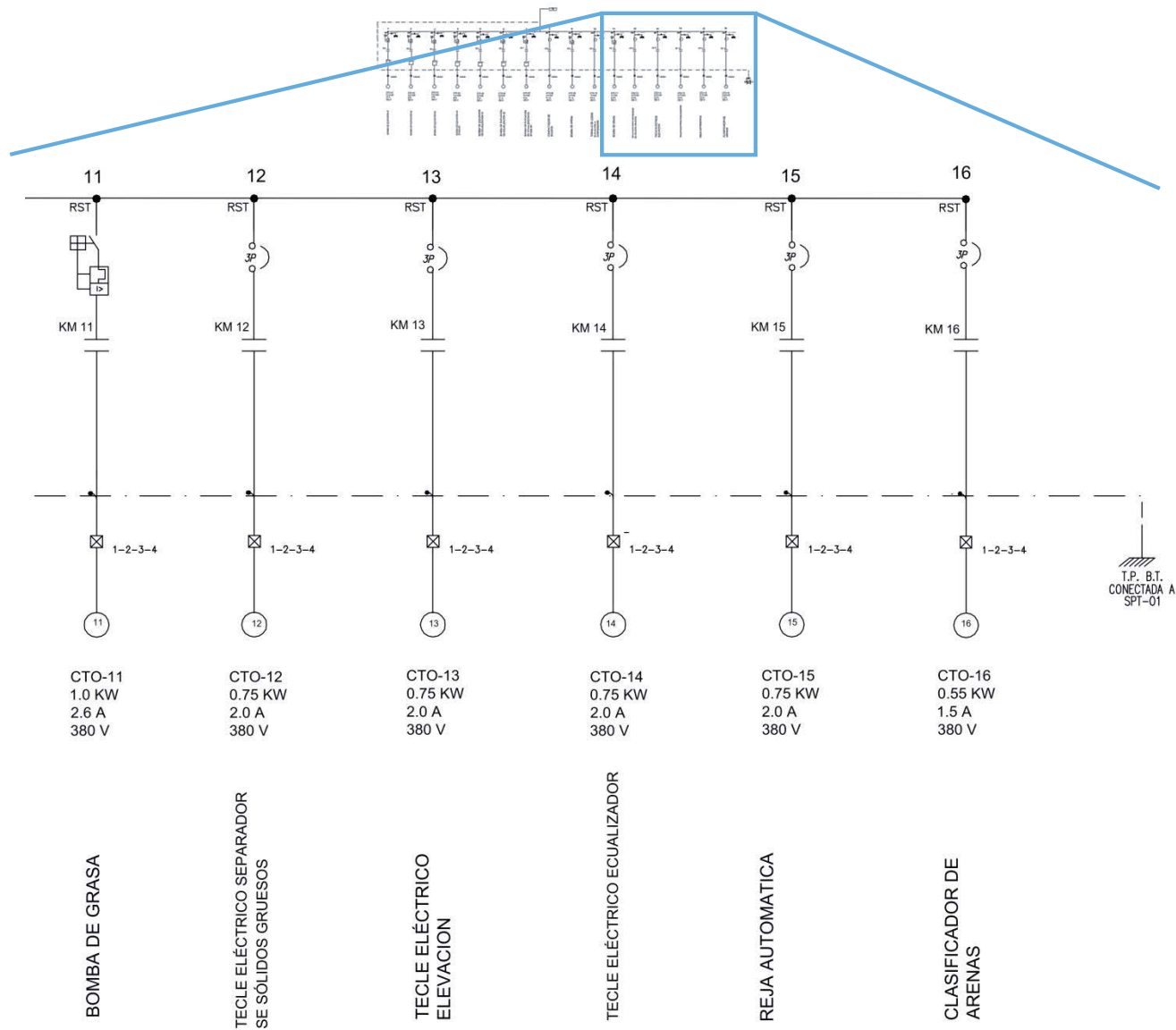


Figura 4-27: Diagrama unilineal de fuerza - Vista con zoom - Parte 3 de 3

4.8.3 Diagrama trifásico de fuerza

En esta sección, se mostrarán los diagramas trifásicos de fuerzas, se representarán en dos formas, la primera es incorporando el banco de condensador y la segunda con condensadores individuales.

- A. En este diagrama trifásico, se puede ver todas las cargas del proceso preliminar de la planta de agua servidas del aeropuerto AMB. En éste se muestran las tres fases más el neutro aterrizado, consta con protecciones de guardamotor tripolar y partidores suaves para las bombas de 13,5 kW, 5,9 kW y para las demás cargas consta de un interruptor automático termomagnético. Todas las cargas cuentan con sus respectivos contactores. También se le agregó la conexión con el banco de condensador para compensar el factor de potencia. El diagrama se puede ver en la Figura 4-28.

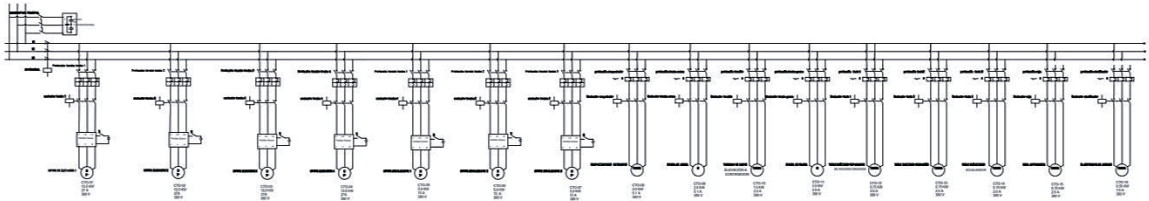


Figura 4-28: Diagrama trifásico de fuerza - Vista completa del dibujo

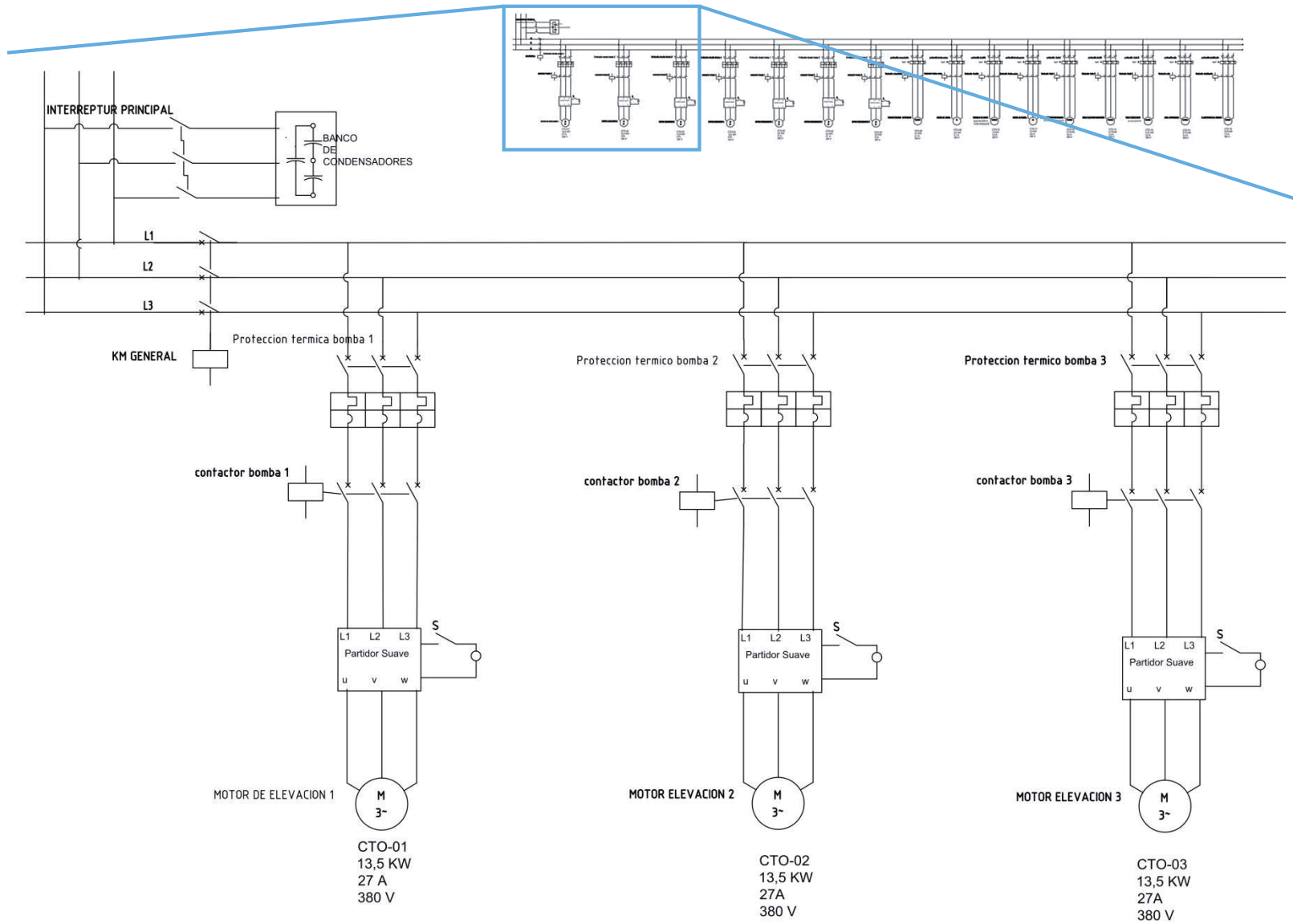


Figura 4-29: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 1 de 4

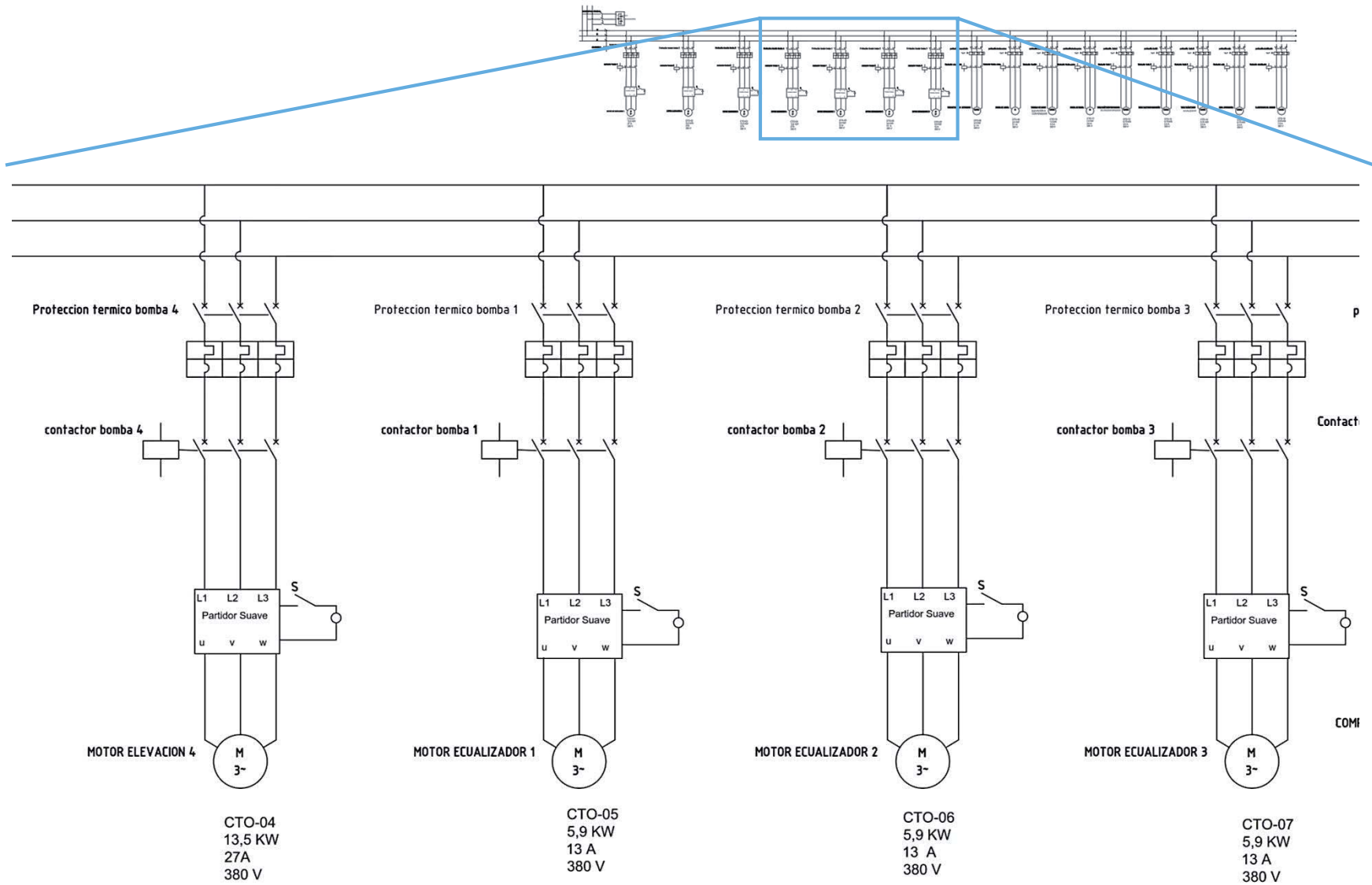


Figura 4-30: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 2 de 4

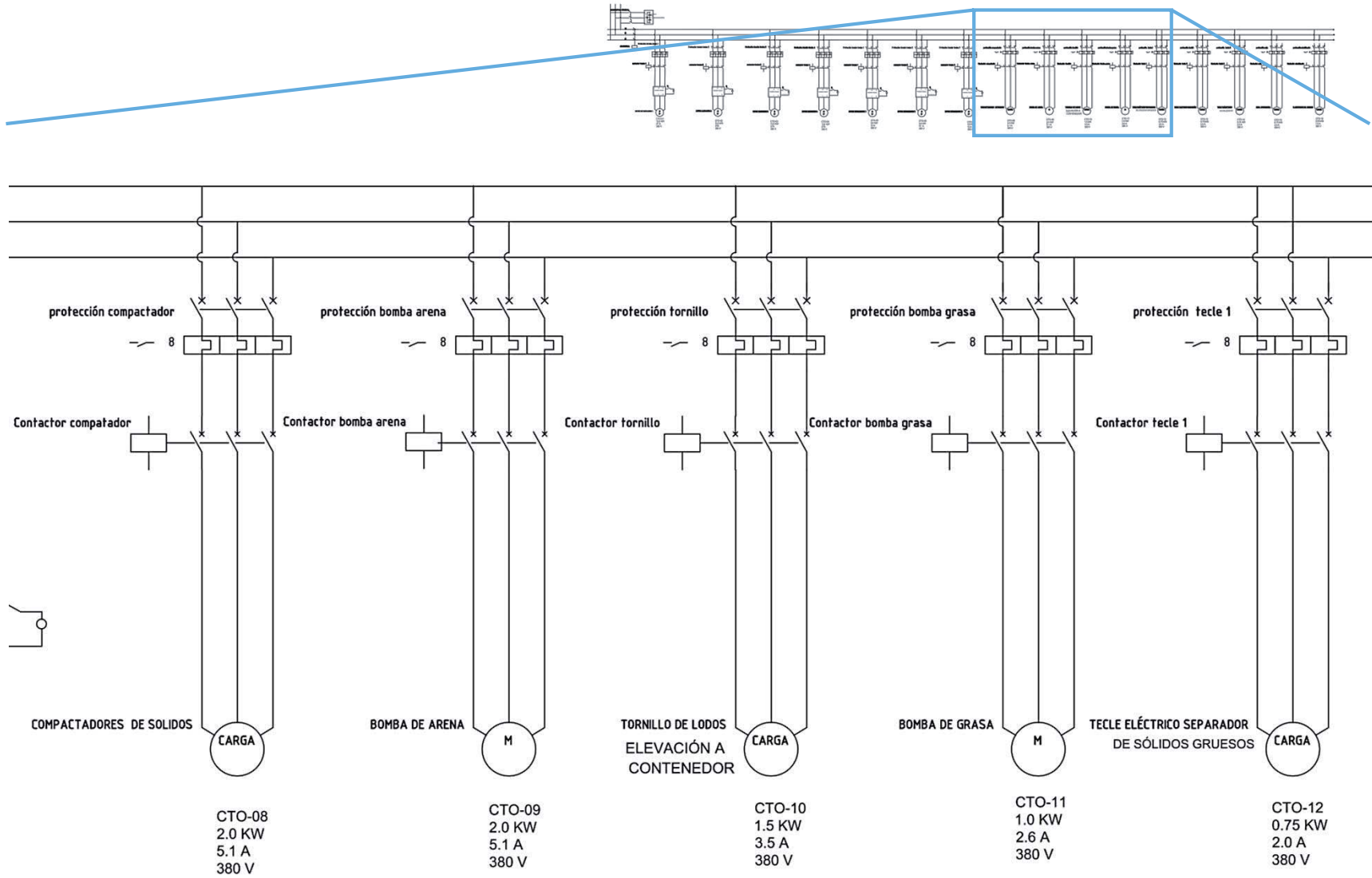


Figura 4-31: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 3 de 4

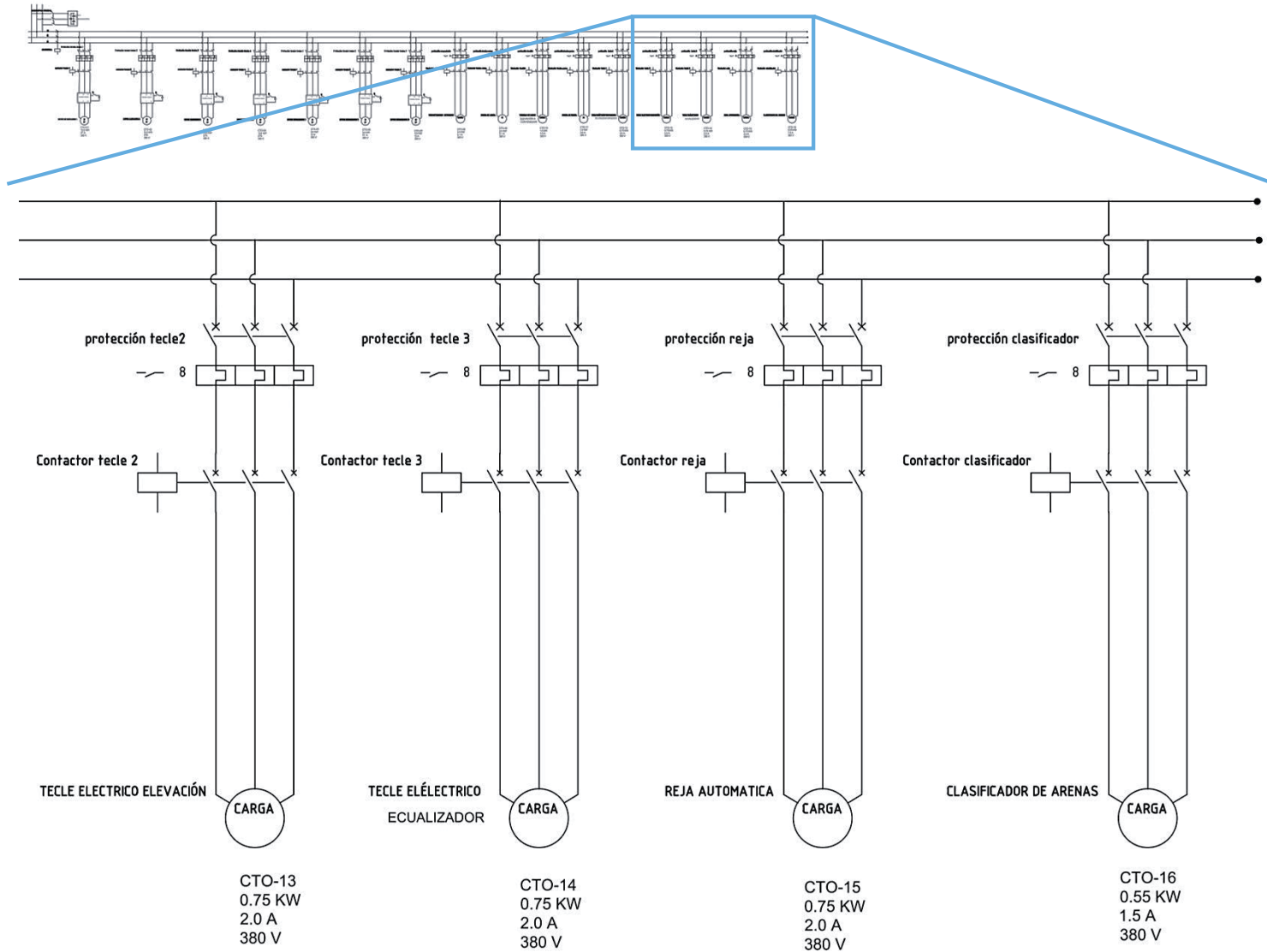


Figura 4-32: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 4 de 4

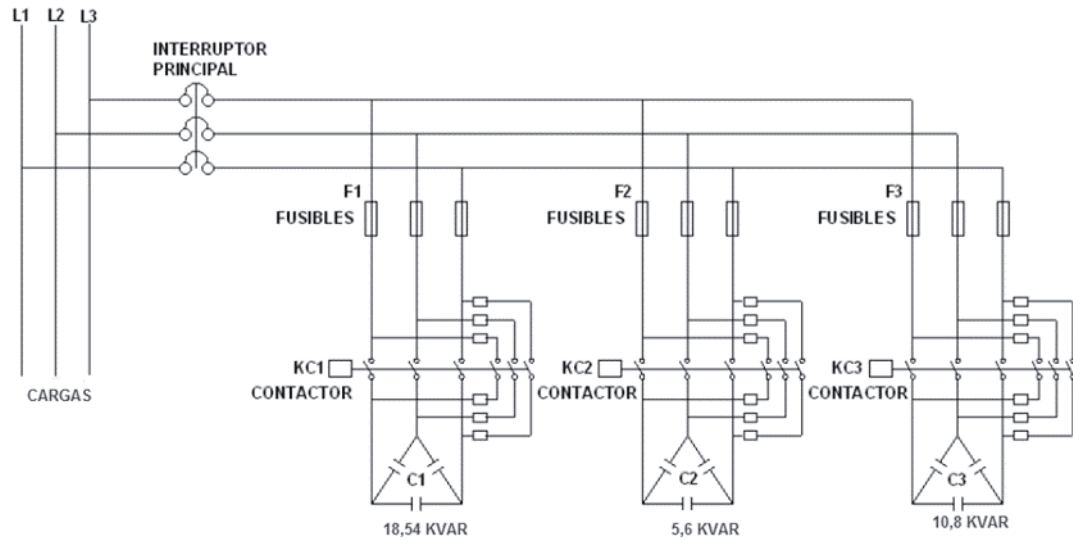


Figura 4-33: Diagrama trifásico de fuerza de banco de condensador

- B. En este diagrama trifásico, se puede ver todas las cargas del proceso preliminar de la planta de agua servidas del aeropuerto AMB. En éste, se muestran las tres fases más el neutro aterrizado, consta con protecciones de guardamotor tripolar y partidores suaves para las bombas de 13,5 kW, 5,9 kW. Para las demás cargas, consta de un interruptor automático termomagnético. Todas las cargas cuentan con sus respectivos contactores. También, se le agrego la conexión de condensadores individuales para compensar el factor de potencia. El diagrama se podrá ver en la Figura 4-34.

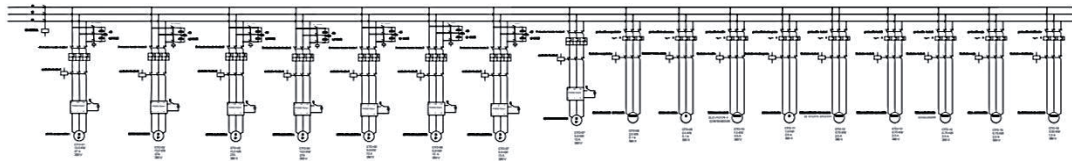


Figura 4-34: Diagrama trifásico de fuerza - Vista completa

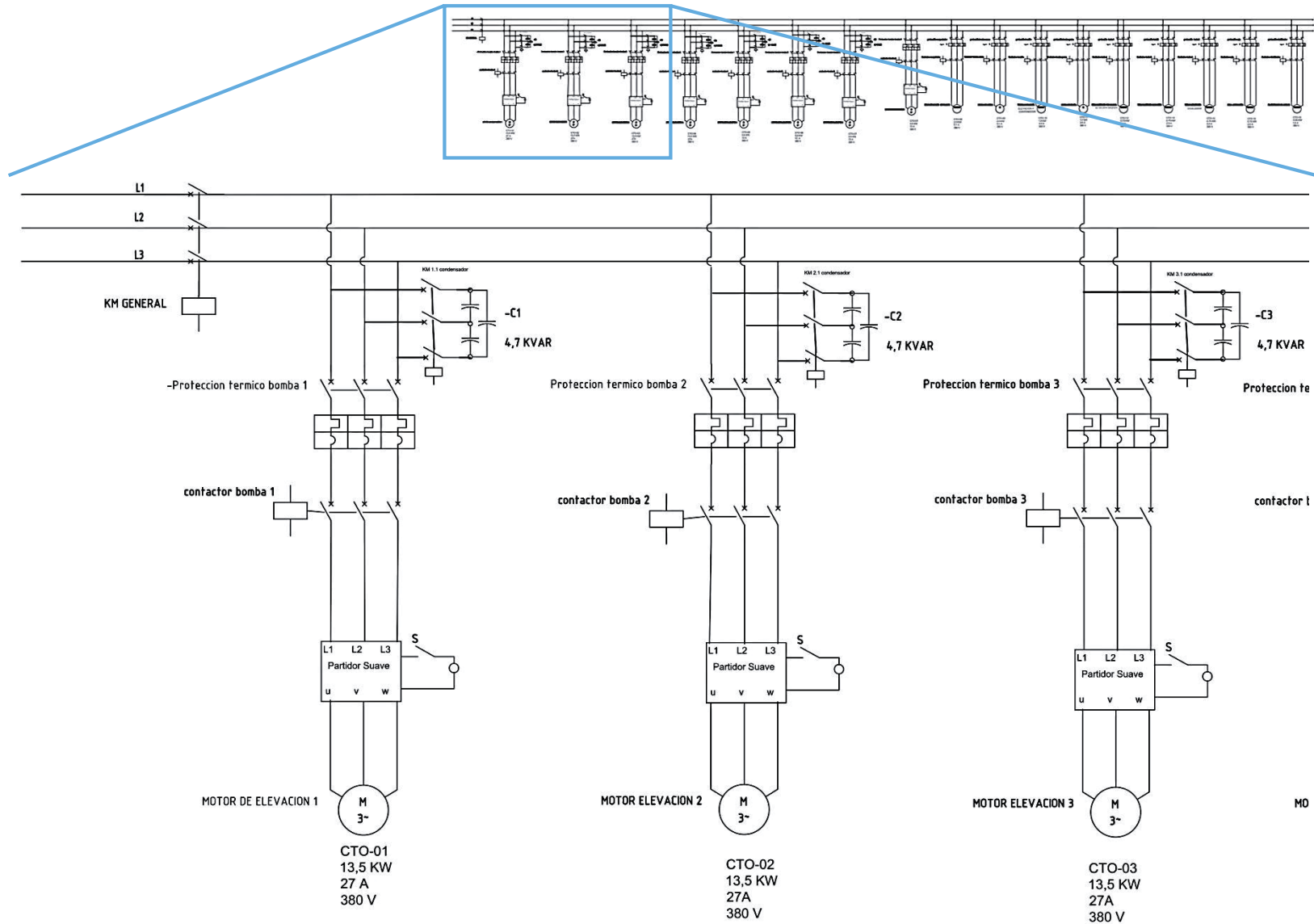


Figura 4-35: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 1 de 4

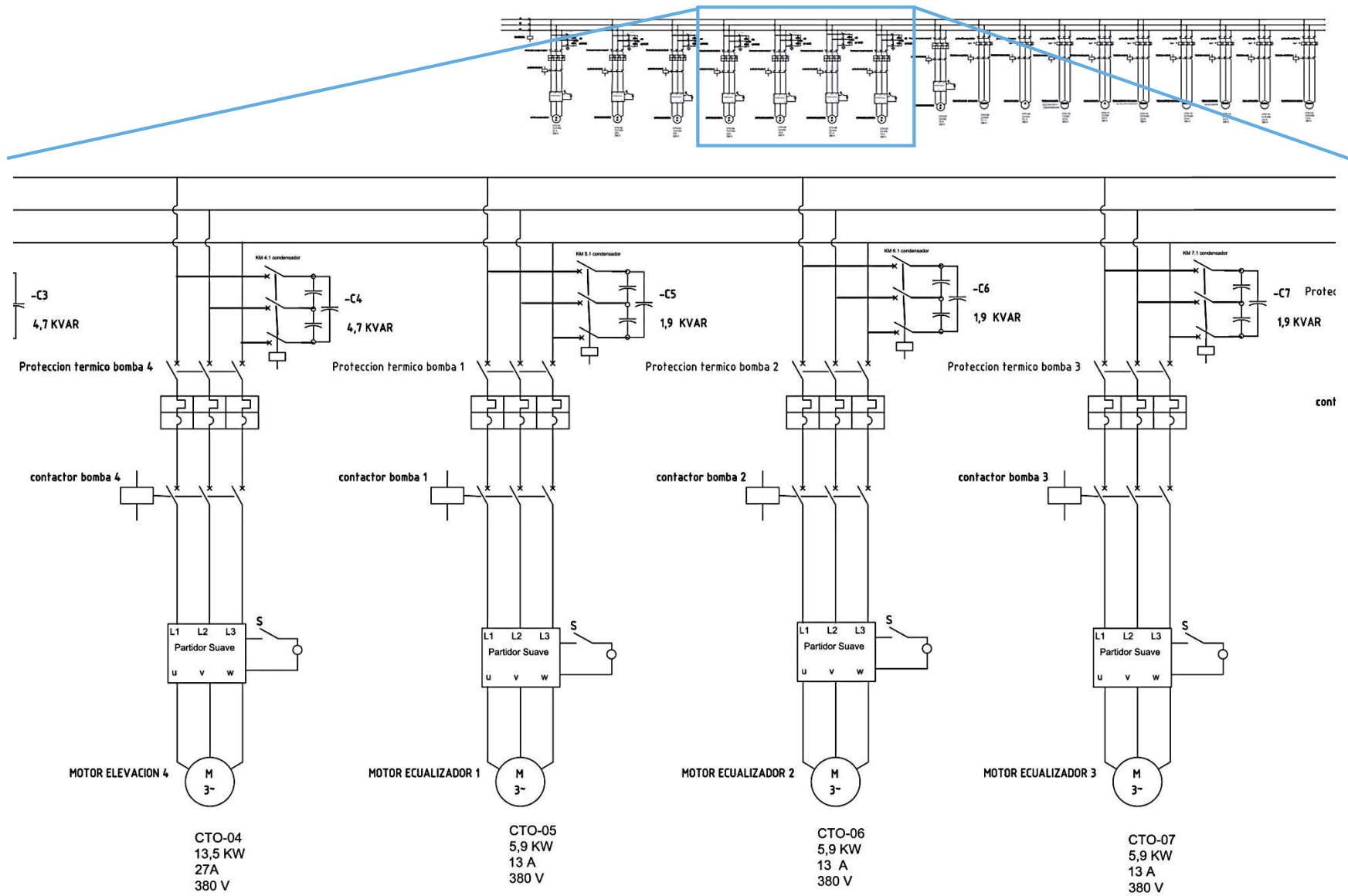


Figura 4-36: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 2 de 4

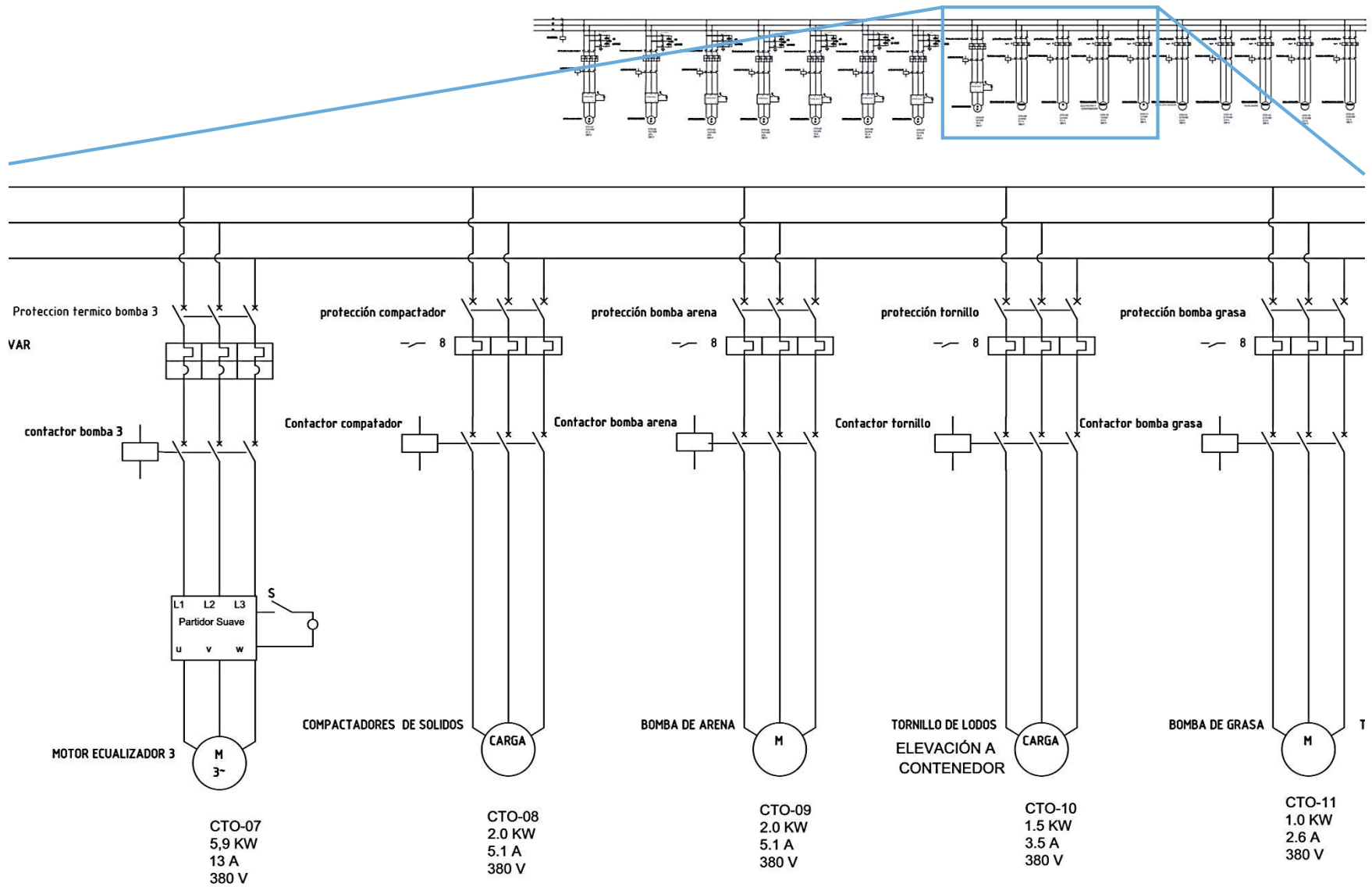


Figura 4-37: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 3 de 4

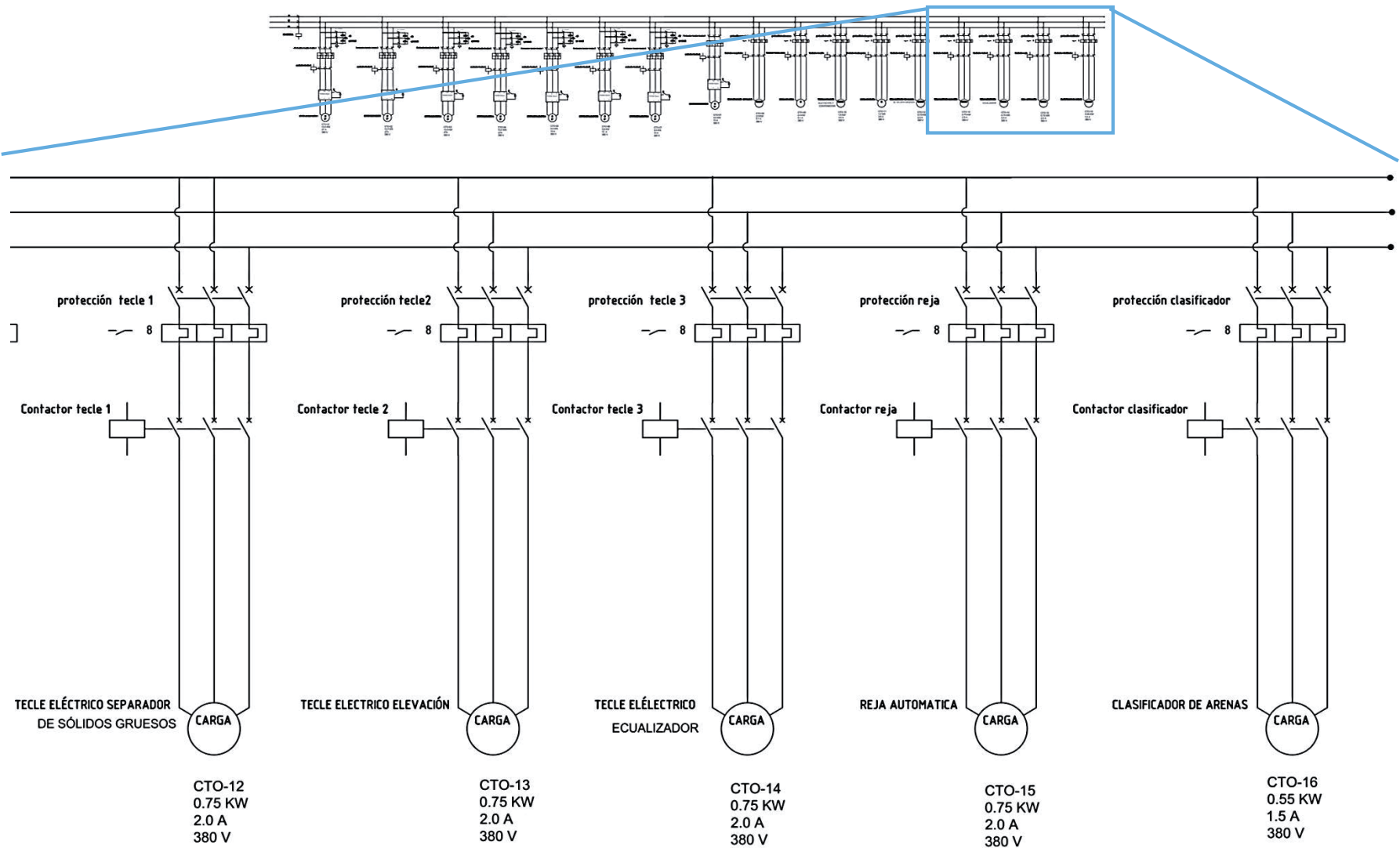


Figura 4-38: Diagrama trifásico de fuerza - Vista con zoom - Parte 4 de 4

4.8.4 Desarrollo del sistema de control en el tratamiento de aguas servidas

En la Figura 4-39 se observa el diagrama de control de marcha y paro de todo el sistema de la planta de aguas servidas. Consta de un Contactor el cual es activado con los pulsadores de marcha y paro, se respectivamente enciende luces pilotos.

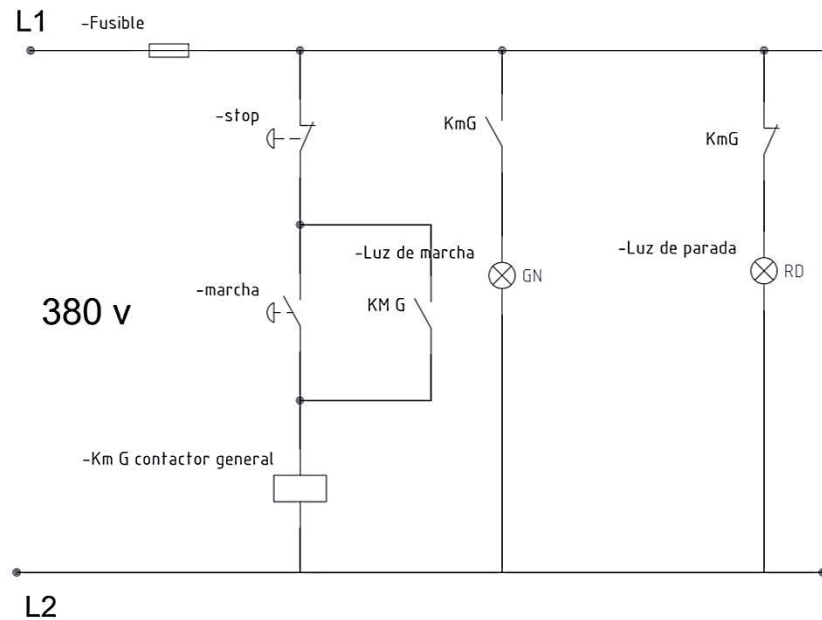


Figura 4-39: Diagrama control sistema de aguas servidas

En la Figura 4-40 se observa el diagrama de control de marcha y paro de una bomba de elevación. Consta con un selector manual, el usuario puede accionar de forma manual o de forma automática mediante el uso del PLC. Luego tiene los contactos de marcha y parada de la bomba, con sus respectivas luces de encendido o apagado, como también tiene sus protecciones y una sirena en caso de que falle la bomba. Este control es idéntico para las demás bombas.

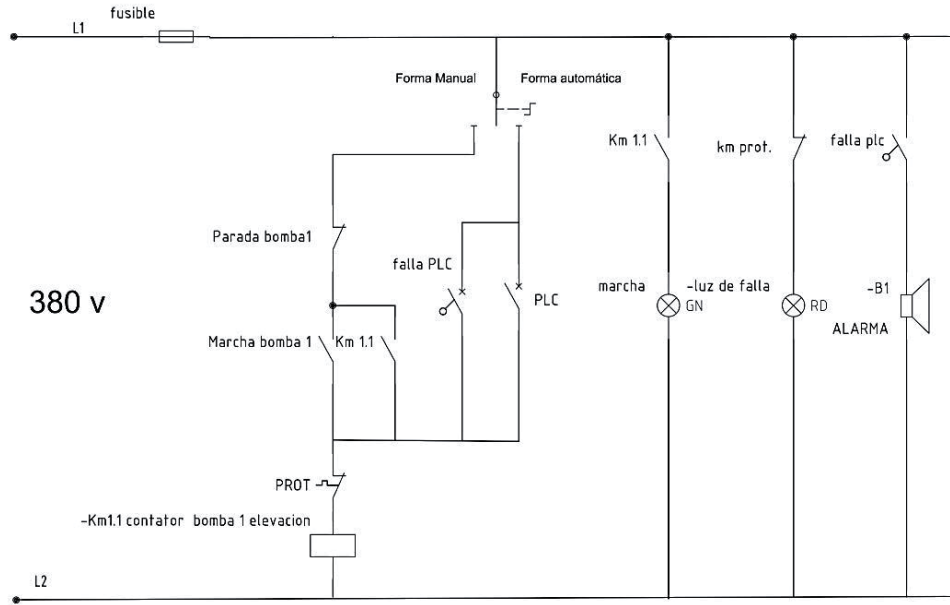


Figura 4-40: Diagrama control de una bomba de forma manual y automática.

En la Figura 4-41 se observa el diagrama de control de partidor suave, el cual consta de un bobina el que es activada con los contactos de marcha y paro, encendiendo las respectivas luces pilotos, también tiene una forma de funcionamiento automático o manual para dar marcha a las bombas.

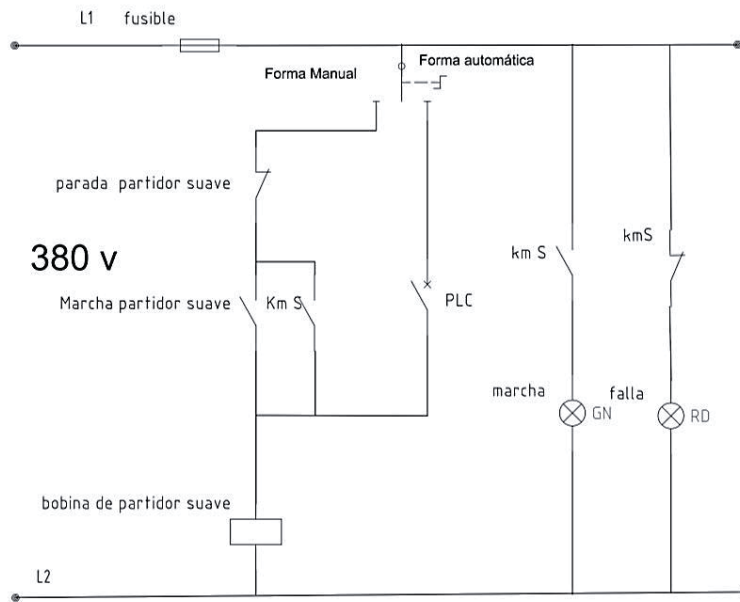


Figura 4-41: Diagrama de control de partidor suave de forma automática y manual.

En la Figura 4-42 se puede observar el diagrama de control de marcha y paro de la reja. Consta de un Contactor el cual se acciona de forma manual dándole la marcha y paro a esta reja, también tiene su respectiva protección.

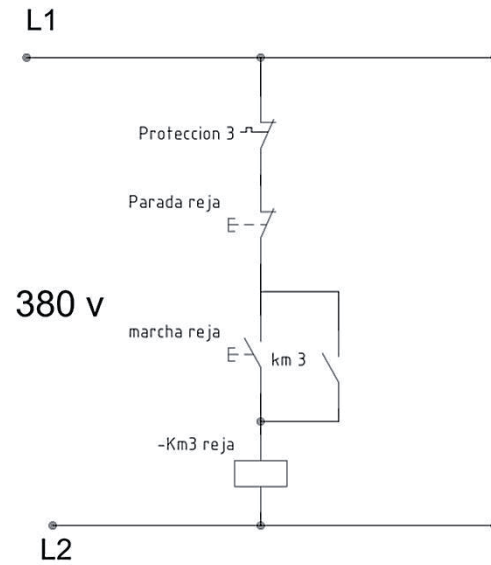


Figura 4-42: Diagrama control de una reja de forma manual

En la Figura 4-43 se muestra el diagrama del PLC, el cual contiene en el lado izquierdo todas las entradas hacia él, información necesaria para que el sistema funcione en forma automática. Hacia el lado derecho contiene todas las salidas, correspondiente a los actuadores que el PLC hará funcionar. En total se utilizan 22 entradas y 32 salidas.

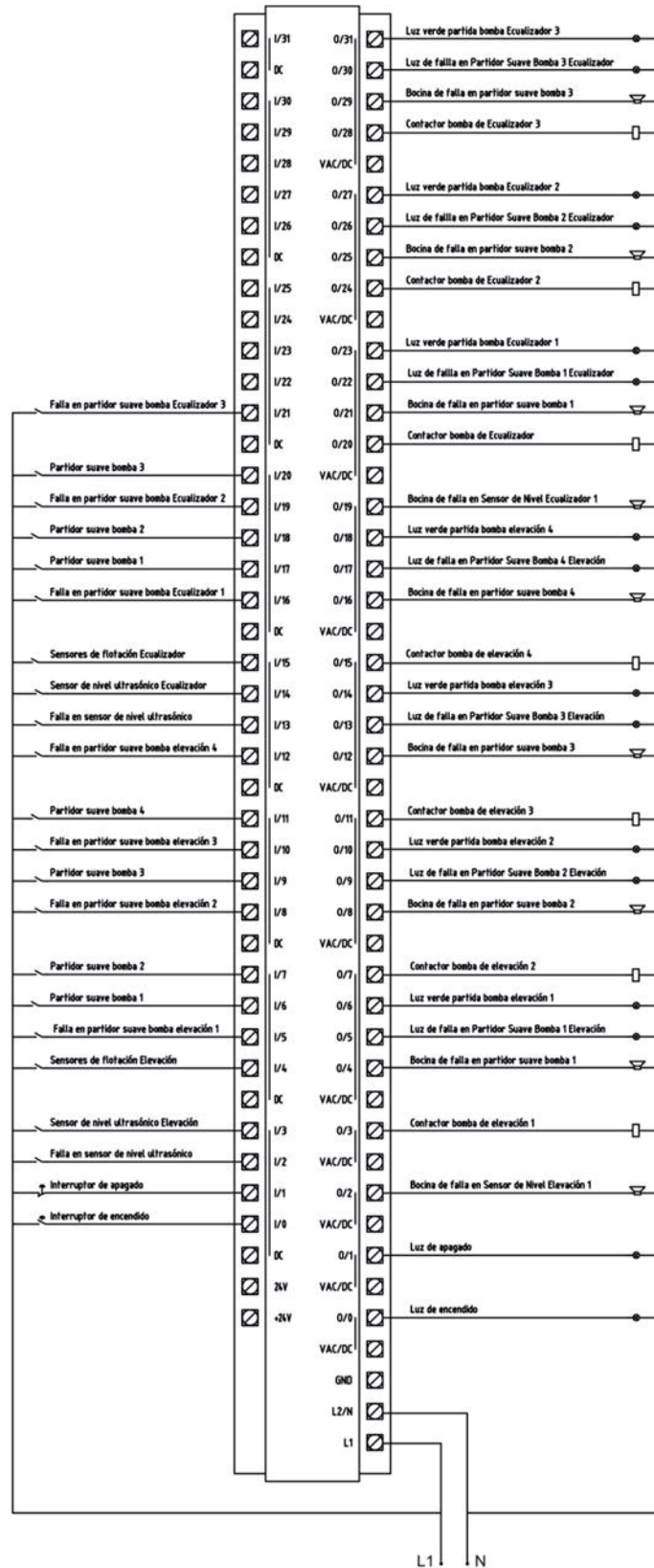


Figura 4-43: Diagrama de control del PLC

5 Costo Económico

En el siguiente apartado es presentado el costo económico del proyecto de ampliación de la planta de aguas servidas del aeropuerto Arturo Merino Benítez, donde son desarrollados los costos de los componentes, mano de obra y equipos para la ampliación de la parte preliminar de la planta.

5.1 Costos de los componentes

A continuación, en la Tabla 5-1 se presenta una lista con los respectivos costos de los componentes más importantes en cuanto a implementación y a inversión para la ampliación del tratamiento preliminar de la planta de aguas servidas. Se hizo una búsqueda de costos en diferentes empresas de ventas de los equipos y elementos que se necesitaban.

Tabla 5-1: Comparación de precios

Componentes	Descripción	RHONA (precio por unidad)	DARTEL (precio por unidad)	GOBANTE S(precio por unidad)	LEGRAND (precio por unidad)
Contactador	380 V- 32 A	\$ 68.450	-	\$ 36.491	\$ 67.780
Contactador	380 V- 21 A	\$ 45.800	-	\$ 34.790	\$ 45.780
contactador	380 V- 9 A	\$ 45.841	-	\$ 26.438	\$ 24.440
Guardamotor	36 A	\$ 114.500	-		\$ 103.950
Guardamotor	21 A	\$ 47.000	-		\$ 37.130
Interruptores termomagnético	6 A	\$ 25.179	-	\$ 27.000	\$ 40.150
Interruptores termomagnético	10 A	\$ 25.179	-	\$ 27.000	\$ 36.130
Partidor suave	29-40 A	\$ 932.087	\$990.487	-	-

PLC	24 entradas- 24 salidas	\$ 792.583	-	-	-
Sensor ultrasónico		\$ 605.729	-	-	-
Selector	Dos posiciones	\$ 6.976	-	-	-
luces		\$ 7.288	-	-	-
Botoneras	1 NA+1NC	\$ 8.510	-	-	-
Cable	2,5 m ²	\$ 397	-	\$ 446	-
	4m ²	\$ 503	-	\$ 668	-
Bombas	13,5 kW	\$ 20.634.000	-	-	-
bombas	5,9 kW	\$ 15.410.670	-	-	-
Banco de condensador	35 kVAR	-	-	-	\$1.769.960
Condensador	1,9 kVAR	-	-	-	\$ 24.380
	4,7 kVAR	-	-	-	\$ 53.700
Tablero de montaje	-	-	-	-	\$470.850
Puerta de tablero de montaje	-	-	-	-	\$160.840

De la Tabla 5-1, se escogieron los valores más bajos, pero que fueran de buena calidad, para tener una mejor vida útil.

Con respecto a los condensadores, se escogerá la compensación individual ya que con la compensación central, el banco de condensadores es más cara ya que tiene un controlador de factor de potencia incorporado y eso le sube el valor, en cambio comprar condensadores individuales para cada carga es más económico, así como se puede observar en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2 Costos de Condensadores.

Compensación	Cantidad	Costo
Individual	1,9 kVAR · 3	\$287.940 (Legrand)
	4,7 kVAR · 4	
Central	35 kVAR · 1	\$1.769.960 (Legrand)

A continuación, la Tabla 5-3 presenta una lista con los respectivos costos de los componentes más importantes en cuanto a implementación y a inversión para la planta elevadora. En la tabla se muestra los valores para la implementación de una bomba, las cuales son cuatro, así que hay que calcular el precio final de esta planta por cuatro.

Tabla 5-3: Costos del procesos de elevación para la instalación una sola bomba

Componentes	Descripción	Cantidad	Precio unitario (pesos chilenos)	Unidades	Precio total (pesos chilenos/(unidad o metros))
Contactador	380V - 32A	1	\$ 67.780	c/u	\$ 67.780
Guardamotor	36A	1	\$ 103.950	c/u	\$ 103.950
Partidor suave	29-40 A	1	\$ 932.087	c/u	\$ 932.087
Cable	10 AWG	80	\$ 503	m	\$ 40.240
Cable	14 AWG	20	\$ 397	m	\$ 5.955
Bombas	13,5 kW	1	\$ 20.634.000	c/u	\$ 20.634.000
			total		\$ 21.784.012

La Tabla 5-4 muestra los costos de los componentes necesarios para implementar en el proceso de equalización de la etapa preliminar de la planta de agua servida. Sin embargo, se presenta las cantidades requeridas y cotización para una sola bomba, por lo cual los valores se deben multiplicar por tres.

Tabla 5-4: Costos del proceso de eculización para la instalación una sola bomba

Componentes	Descripción	Cantidad	Precio unitario (pesos chilenos/(unidad o metros))	Unidades	Precio total (pesos chilenos/(unidad o metros))
Contactador	380V - 21A	1	\$ 45.780	c/u	\$ 45.780
Guardamotor	21 A	1	\$ 37.130	c/u	\$ 37.130
Partidor suave	29-40 A	1	\$ 932.087	c/u	\$ 932.087
Cable	2,5 AWG	180	\$ 397	m	\$ 71.460
Bombas	13,5 kW	1	\$ 15.410.670	c/u	\$ 15.410.670
			total		\$ 16.497.127

Una vez obtenidos estos costos por las dos plantas, la de elevación y eculización, se incorpora los costos comunes de las 2 plantas a implementar la ampliación en ellas, esta cotización es presentada en la Tabla 5-5 donde también es representada la cantidad necesaria a utilizar.

Tabla 5-5: Costos totales de los dos procesos más componentes en comunes

Componentes	Descripción	Cantidad	Precio unitario (pesos chilenos/(unidad o metros))	Precio total (pesos chilenos/(unidad o metros))
Planta de elevación	Total de componentes	4	\$21.784.012	\$87.136.048
Planta eculización	Total de componentes	3	\$16.497.127	\$49.491.381
PLC	24 entradas-24 salidas	1	\$942.060	\$942.060
Condensadores	1,9 kVAR	3	\$24.380	\$73.140
	4,7 kVAR	4	\$53.700	\$214.800
Sensor ultrasónico	Componente para las dos procesos	2	\$605.729	\$1.211.458
Selectores	Dos posiciones	4	\$6.976	\$27.904

5 Costo Económico

Luces	Luces piloto	10	\$7.288	\$72.880
Botonera	1 NA+1NC	10	\$8.510	\$85.100
Interruptores	10A	5	\$25.179	\$125.895
	6A	5	\$25.179	\$125.895
Guardamotor	21A	3	\$47.000	\$141.000
	36A	4	\$114.500	\$458.000
Contactores	380V - 32A	4	\$ 68.450	\$273.800
	380V - 21A	3	\$ 45.800	\$137.400
	380V - 9A	9	\$ 45.841	\$412.569
Tablero de montaje		1	\$470.850	\$470.850
Puerta de tablero de montaje		1	\$160.840	\$160.840
			TOTAL	\$141.805.800

5.2 Presupuesto de Mano de Obra

Es el esfuerzo físico o mental que se utiliza en el desarrollo del proyecto. Los costos de mano de obra tienen que ir involucrados en este trabajo, ya que son un importante costo.

Para el cálculo de este rubro se presenta, a continuación, en base a una lista de salarios nacionales, obtenidos de la página www.tusalario.org, de la cual se escoge el salario promedio para un trabajador con cinco años de experiencia.

- Número de trabajadores: 11
 - 1 Ingeniero Eléctrico
 - 1 Ingeniero Mecánico
 - 1 Ingeniero Electrónico
 - 1 Dibujante
 - 1 Ingeniero Prevención
 - 1 Técnico Eléctrico
 - 1 Técnico Mecánico
 - 2 Ayudante de Obra
 - 2 Maestro de Obra

- Numero de meses trabajados: 12 meses
- Precio por día jornada en pesos Chilenos:
 - \$ 53.000 Ingeniero Eléctrico
 - \$ 43.000 Ingeniero Mecánico
 - \$ 56.000 Ingeniero Electrónico
 - \$ 33.000 Dibujante
 - \$ 43.000 Ingeniero Prevención
 - \$ 26.000 Técnico Eléctrico
 - \$ 26.000 Técnico Mecánico
 - \$ 10.000 Ayudante de Obra
 - \$ 18.000 Maestro de Obra
- Ecuación para calcular la mano de obra =Número de trabajadores por día de jornada por \$ día de jornada
 - $1 \cdot 360 \cdot \$ 53.000 = \$ 19.080.000$ (Ingeniero Eléctrico)
 - $1 \cdot 360 \cdot \$ 43.000 = \$ 15.480.000$ (Ingeniero Mecánico)
 - $1 \cdot 60 \cdot \$ 56.000 = \$ 3.360.000$ (Ingeniero Electrónico)
 - $1 \cdot 120 \cdot \$ 33.000 = \$ 3.960.000$ (Dibujante)
 - $1 \cdot 360 \cdot \$ 43.000 = \$ 15.480.000$ (Ingeniero Prevención)
 - $1 \cdot 360 \cdot \$ 26.000 = \$ 9.360.000$ (Técnico Eléctrico)
 - $1 \cdot 360 \cdot \$ 26.000 = \$ 9.360.000$ (Técnico Mecánico)
 - $2 \cdot 360 \cdot \$ 10.000 = \$ 3.600.000$ (Ayudante de Obra)
 - $2 \cdot 360 \cdot \$ 18.000 = \$ 6.480.000$ (Maestro de Obra)
 - Total mano de obra = \$ 86.160.000

5.3 Costo total del proyecto

Para lograr un total del costo del proyecto, se suman los valores totales de los presupuestos de materias y mano de obra. En la Tabla 5-6 se presenta un resumen de los costos.

Tabla 5-6: Resumen de costos del proyecto

Concepto	Costo
Materiales	\$141.805.800
Mano de obra	\$ 86.160.000
Total Presupuesto	\$ 227.965.800

Conclusiones

En la ampliación de la planta de tratamiento de aguas servidas del aeropuerto AMB, en la parte preliminar al tratamiento biológico, se desarrolló el diagrama de proceso actualizado, incorporando los nuevos elementos que se añaden como mejoras del sistema.

Se modifica sistema de control de nivel incorporando un sensor ultrasónico, el cual se complementara con el anterior sistema compuesto por sensores de nivel por flotación ubicados a distintas alturas. Estos últimos, se mantendrán como sistemas de respaldo en caso de fallar el sensor ultrasónico.

Se eligió la instrumentación adecuada para la propuesta de acuerdo a las variables que la requerían dando especificaciones técnicas de cada elemento, se eligió un controlador lógico programable (PLC) para el control del sistema porque los beneficios que otorga este dispositivo son: poco espacio para su instalación, ahorro de componentes, ahorro de cableado, velocidad de respuesta más rápida, se puede conectar en red con otros PLC amigable con la instrumentación y se puede controlar a distancias grandes entre otras.

Se usó una programación Ladder, esquemas de uso común para representa la lógica de control del sistema, la instrucciones de entrada se introducen a la izquierda y la instrucciones de salida se situaran a la derecha. Este lenguaje de programación utilizado para el procesos preliminar de la planta de agua servidas para el control de bombas y los sensores ultrasónicos de los estanque de elevación y eculización.

Se logró construir un esquema de control de arranque y detención del sistema de forma manual, también el control automático para el arranque y detención de las bombas (bomba de elevación y eculización), como también el diagrama del partididor suave. Así mismo, se realiza un diagrama de fuerza de distribución de carga unilineal y trifásica incorporando protecciones eléctricas, contactores y partidores suaves a las bombas de elevación.

Se hizo el cálculo de conductores para el sistema preliminar, por medio de dos métodos: el de caída de tensión y por medio de la corriente. Con los datos obtenidos por cada método se hizo una comparación de resultados, obteniendo diferencias de sección de cableado, pero más eficiente resulta ser la de caída de tensión ya que involucra más datos de las cargas y distancias, obteniendo un resultado más exacto.

Se escogió el conductor Superflex, ya que es recomendado para ser usado en circuitos de alimentación y distribución de subestaciones e instalaciones industriales. Se distingue por su flexibilidad y manejabilidad, que facilitan y ahorra tiempo en la instalación. Tiene una aislación de XLPE, Polietileno reticulado, permitiendo una temperatura máxima del conductor 90 °C en servicio permanente. También posee una

cubierta de PVC, Policloruro de vinilo, con una temperatura máxima del conductor 70 °C en servicio permanente. Además, es un cable libre de halógenos requerido por normas Chilenas.

Para las protecciones de las bombas se siguió la normas SEC, que dice si las potencias son mayor a 1 HP tiene que tener protecciones, contra sobre carga. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulado a no más de 125% la corriente nominal del motor si se trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 o, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.

Comercialmente se encuentran protecciones marca LEGRAND, para motores más grande de 13,5 kW y de 5,6 kW se le protege con guardamotors tripolares. Para el de 13,5 kW modelo MPX 63 H de 36 A y para el de 5,6 kW modelo MPX 32S de 22 A. Y para las demás cargas se les colocará un interruptor termomagnético marca LEGRAND modelo Dx 6000, de 6 A y 10 A, respectivamente.

Para la elección de partidior suave se ocupó la misma analogía anterior y se buscó comercialmente un partidior suave marca AUCOM de 29 a 40 A para las bombas de 13,5 kW y 5,6 kW.

Además, para el cálculo de factor de potencia se siguió norma SEC que obliga a los consumidores, frente a los distribuidores, a no bajar su factor de potencia de 0.93 inductivo. Si no cumplen con dicha normativa, se recarga en 1% de la factura total, por cada centésima que este factor baje de 0.93. De esta forma, si usted tiene un factor de potencia de 0.9 se le recargará su factura en un 3%.

Para el caso de compensación se escoge la individual, comercialmente se encontraron condensadores de marca ALPICAN, con un diseño compacto en botella cilíndrica de aluminio, seguridad dual con autoprotección y desconectador de sobretensión. Para tensión de 380 V y 50 Hz. Sus potencias de ventas son de 1,9 kVAR y 4,7 kVAR que nos sirven para este proyecto. Se escoge la compensación individual, ya que, es más económica que la compensación grupal para este caso ya que la que se encontró comercialmente era de un alto valor ya que contenía un controlador de factor de potencia y eso le aumenta su precio.

En los costos económicos, se realiza la comparación de precios en diferentes empresas distribuidoras de la venta de los equipos y elementos necesario para este proyecto, asimismo se calculó la mano de obra para construir este proyecto, ya que, el esfuerzo físico o mental se empleara en el desarrollo de este proyecto. El costo total del proyecto es de \$ 227.965.800 pesos, este valor incorpora la compra de materiales que hace una suma de \$ 141.805.800 pesos y la mano de obra \$86.160.000 pesos trabajando 12 meses.

Bibliografía

- [1] « Ampliación Aeropuerto, Gobierno de Chile». [En línea]. Available: <http://2010-2014.gob.cl/>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [2] MOP, « Declaracion de impacto ambiental fase 3». [En línea]. Available: <http://static.pulso.cl/>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [3] « Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar, Trabajo de Grado». [En línea]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/> [Último acceso: Noviembre 2016].
- [4] M.E. Vicente Pérez « Introducción al control con PLC ». [En línea]. Available: <http://www.academia.edu/> [Último acceso: Noviembre 2016].
- [5] « Catalogos de cables superflex» [En línea]. Available: <http://www.gobantes.cl/> y www.generalcable.com/ [Último acceso: Noviembre 2016].
- [6] « partidor suave » [En línea]. Available: <http://www.fanox.com/es/products/proteccion-y-control-de-motores-y-generadores/arrancadores-suaves-es/> [Último acceso: Noviembre 2016]
- [7] « valores vida util » [En línea]. Available: http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/vida_util.htm/ [Último acceso:Enero 2017]
- [8] « precios elementos » [En línea]. Available: <http://www.rhona.cl/> [Último acceso:Enero 2017]
- [9] « Guia de potencia » [En línea]. Available http://www.legrand.cl/archivos/guia_de_potencia.pdf [Último acceso:Enero 2017]
- [10] «Catalogo tecnico » [En línea]. Available: http://www.legrand.cl/archivos/guia_catalogo_tecnico.pdf [Último acceso:Enero 2017]
- [11] «precios legrand» [En línea]. Available: http://www.legrand.cl/archivos/lista_precios_lg_octubre2016.pdf [Último acceso:Enero 2017]
- [12] « Factor de potencia » [En línea]. Available: <http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf> [Último acceso:Enero 2017]
- [13] « analisis de proyecto » [En línea]. Available: <http://impresa.elmercurio.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2015-06-16&dtB=31-12-2016%20:00:00&PaginaId=7&bodyid=2> [Último acceso:Enero 2017]
- [14] « partidor suave » [En línea]. Available: <http://www.schneider-electric.cl/documents/local/cap02.pdf> [Último acceso:Enero 2017]
- [15] « calculo de factor de potencia » [En línea]. Available: <http://www.tuveras.com/fdp/fdp.htm> [Último acceso:Enero 2017]

- [16 « tasa de interes del mercado» [En línea]. Available :
] <http://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
[Último acceso:Enero 2017]
- [17 « manual de usuario de partidador suave » [En línea]. Available :
] <http://www.hub.aucom.com/manual/1004-710-13631-00-emx3-user-manual-es/file> [Último
acceso:Enero 2017]

A Norma chilena eléctrica 4/2003

Esta Norma tiene por objeto fijar las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en Baja Tensión, con el fin de salvaguardar a las personas que las operan o hacen uso de ellas y preservar el medio ambiente en que han sido construidas.

En este anexo se presentan los puntos más relevantes de la Norma que se han utilizado para el desarrollo del proyecto.

A.1 Terminología

- **Carga:** Es todo artefacto, equipo o instalación cuyo mecanismo u operación requiere del consumo de energía eléctrica para su funcionamiento.
- **Circuito:** Conjunto de artefactos alimentados por una línea común de distribución, la cual es protegida por un único dispositivo de protección.
- **Conductor:** Hilo metálico, de cobre dentro del alcance de esta Norma, de sección transversal frecuentemente cilíndrico o rectangular, destinado a conducir corriente eléctrica. De acuerdo a su forma constructiva podrá ser designado como alambre, si se trata de una sección circular sólida única, barra si se trata de una sección rectangular o conductor cableado si la sección resultante está formada por varios alambres iguales de sección menor.
- **Conector:** Dispositivo destinado a establecer una conexión eléctrica entre dos o más conductores.
- **Demanda:** La demanda de una instalación, sistema eléctrico o parte de él, es la carga de consumo en el punto considerado, promediada sobre un intervalo de tiempo dado. Se expresa en unidades de potencia.
- **Demanda máxima:** Es la mayor demanda de la instalación, sistema eléctrico o parte de él que ocurre en un período de tiempo dado. Se expresa en unidades de potencia.
- **Equipo eléctrico:** Término aplicable a aparatos de maniobra, regulación, seguridad o control y a los artefactos y accesorios que forman parte de una instalación eléctrica. Dependiendo de su forma constructiva y características de resistencia a la acción del medio ambiente se calificarán según los tipos detallados a continuación y de acuerdo al cumplimiento de la norma específica sobre la materia.
- **Falla:** Unión entre dos puntos a potencial diferente o ausencia temporal o permanente de la energía al interior o exterior de una instalación, que provoca una condición anormal de funcionamiento de ella, de alguno de sus circuitos o de parte de éstos.

- Cortocircuito: Falla en que su valor de impedancia es muy pequeño, lo cual causa una circulación de corriente particularmente alta con respecto a la capacidad normal del circuito, equipo o parte de la instalación que la soporta.
- Falla a tierra: Unión de un conductor activo con tierra o con equipos conectados a tierra.
- Sobrecorriente: Corriente que sobrepasa el valor permisible en un circuito eléctrico; puede ser provocada por cualquiera de las condiciones de falla definidas en los párrafos precedentes o por una sobrecarga.
- Protecciones: Dispositivos destinados a desenergizar un sistema, circuito o artefacto cuando en ellos se alteran las condiciones normales de funcionamiento.
- Disyuntor: Dispositivo de protección provisto de un comando manual y cuya función es desconectar automáticamente una instalación o la parte fallada de ella, por la acción de un elemento termomagnético u otro de características de accionamiento equivalentes, cuando la corriente que circula por ella excede valores preestablecidos durante un tiempo dado.
- Fusible: Dispositivo de protección cuya función es desconectar automáticamente una instalación o la parte fallada de ella, por la fusión de un hilo conductor, que es uno de sus componentes, cuando la corriente que circula por ella excede valores preestablecidos durante un tiempo dado.
- Protector térmico: Dispositivo destinado a limitar la sobrecarga de artefactos eléctricos mediante la acción de un componente que actúa por variaciones de temperatura, generalmente un par bimetálico.
- Protector diferencial: Dispositivo de protección destinado a desenergizar una instalación, circuito o artefacto cuando existe una falla a masa; opera cuando la suma fasorial de las corrientes a través de los conductores de alimentación es superior a un valor preestablecido.
- Unidad de Potencia sin Interrupción (UPS): Es un equipo eléctrico integrado por una fuente de poder autónoma capaz de entregar energía a un equipo, circuito o instalación cuando se produce una caída de la fuente principal de alimentación, durante un período de tiempo breve sin producir un corte durante el proceso de transferencia.
- Valores nominales: Son los valores de los parámetros de funcionamiento de un sistema, instalación, equipo o artefacto, definidos por su fabricante o instalador para identificarlos.

A.2 Exigencias Generales

A.2.1 Condiciones de Alimentación

- La tensión de servicio de los materiales o equipos empleados en instalaciones deberá ser a lo menos igual a la tensión nominal del sistema a que la instalación se conecte.
- Los materiales y equipos que se utilicen en las instalaciones contenidas en el alcance de esta Norma deberán ser aptos para funcionar a una frecuencia nominal de 50 Hz.

A.2.2 Condiciones de Montaje

- Las disposiciones de esta Norma se han establecido considerando que los conductores empleados en las instalaciones serán de cobre. El uso de otro material como conductor eléctrico deberá ser consultado a SEC, la que podrá autorizar y fijar las condiciones de uso de aquél.
- Las uniones y derivaciones entre conductores podrán hacerse mediante soldaduras de bajo punto de fusión, soldaduras de alto punto de fusión, conectores de baja compresión o conectores de alta compresión. En el caso de usar soldaduras de bajo punto de fusión, deberá verificarse previamente que la unión o derivación sea mecánicamente resistente.

- Los alambres hasta 10 mm² de sección y los conductores cableados hasta 6 mm² podrán conectarse directamente a los terminales o puentes de conexión de los equipos, siempre que estos terminales o puentes permitan este tipo de conexión; para secciones superiores a las indicadas se exigirá un terminal de cable, salvo que el terminal o puente de conexión sea de un diseño tal que haga innecesario o inconveniente esta exigencia.

A.3 Tableros

A.3.1 Conceptos generales

- Los tableros son equipos eléctricos de una instalación, que concentran dispositivos de protección y de maniobra o comando, desde los cuales se puede proteger y operar toda la instalación o parte de ella.
- Los tableros serán instalados en lugares seguros y fácilmente accesibles. Todos los tableros deberán llevar estampada en forma visible, legible e indeleble la marca de fabricación, la tensión de servicio, la corriente nominal y el número de fases. El responsable de la instalación deberá agregar en su oportunidad su nombre o marca registrada.

A.3.2 Clasificación

- Centros de Control: Son tableros que contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y que permiten la operación de grupos de artefactos, en forma individual, en subgrupos, en forma programada o manual.

A.3.3 Material eléctrico

- Los conductores de alimentación que lleguen a un tablero deberán hacerlo a puentes de conexión o barras metálicas de distribución desde donde se harán las derivaciones para la conexión de los dispositivos de comando o protección constitutivos del tablero. No se aceptará el cableado de un tablero con conexiones hechas de dispositivo a dispositivo.
- Todos los tableros cuya capacidad sea igual o superior a 200 Amperes deberán llevar instrumentos de medida que indiquen la tensión y corriente sobre cada fase.
- Los dispositivos de control, luces piloto, instrumentos de medida u otros similares montados en un tablero y que necesiten de energía eléctrica para su funcionamiento, deberán ser alimentados desde circuitos independientes cuya protección podrá ser como máximo de 10 Amperes y de la capacidad de ruptura adecuada.

A.3.4 Conexión a tierra

- Todo tablero deberá contar con una barra o puente de conexión a tierra.

A.4 Alimentadores

A.4.1 Conceptos generales

- Alimentadores propiamente tales: son aquellos que van entre el equipo de medida y el primer tablero de la instalación, o los controlados desde el tablero general y que alimentan tableros generales auxiliares o tableros de distribución.

- Subalimentadores: son aquellos que se derivan desde un alimentador directamente o a través de un tablero de paso, o bien, los controlados desde un tablero general auxiliar.
- En un circuito, a los conductores a través de los cuales se distribuye la energía se denominarán líneas de distribución y a los conductores que alimentan a un consumo específico o llegan al punto de comando de éste se les denominará derivaciones y, en general, no se les aplicarán las disposiciones de esta sección.

A.4.2 Especificaciones

- La sección de los conductores de los alimentadores o subalimentadores será tal que la caída de tensión provocada por la corriente máxima que circula por ellos determinada de acuerdo a 7.2.1.1, no exceda del 3% de la tensión nominal de la alimentación, siempre que la caída de tensión total en el punto más desfavorable de la instalación no exceda del 5% de dicha tensión.
- Protecciones.
 - Los alimentadores se deberán proteger tanto a la sobrecarga como al cortocircuito, con las protecciones adecuadas a cada situación.
 - Los alimentadores se protegerán a la sobrecarga de acuerdo a la potencia utilizada, estando limitada la protección máxima por la capacidad de transporte de corriente de los conductores.
 - En alimentadores que lleven un conductor de puesta a tierra no deberán colocarse protecciones en este conductor, a menos, que la protección sea de un tipo tal que opere simultáneamente sobre todos los conductores del alimentador.
 - Cada alimentador deberá tener un dispositivo individual de operación.

A.4.3 Dimensionamiento

- Estimación de cargas. La carga nominal de un alimentador, según la cual se dimensionará, no será menor que la suma de las cargas de todos los circuitos que sirve el alimentador.

A.5 Materiales y sistemas de canalización

A.5.1 Conceptos generales

- Canalizaciones y conductores.
 - En cada caja de derivación, de enchufes o de interruptores, deberán dejarse chicotes, de por lo menos 15 cm de largo, para ejecutar la unión respectiva.
 - Canalizaciones y conductores. Los conductores de una canalización eléctrica se identificarán según el siguiente Código de Colores:
 - Conductor de la fase 1 azul
 - Conductor de la fase 2 negro
 - Conductor de la fase 3 rojo
 - Conductor de neutro y tierra de servicio blanco
 - Conductor de protección verde o verde/amarillo

A.5.2 Conductores para instalaciones

- La selección de un conductor se hará considerando que debe asegurarse una suficiente capacidad de transporte de corriente, una adecuada capacidad de soportar corrientes de cortocircuito, una adecuada resistencia mecánica y un buen comportamiento ante las condiciones ambientales.

A.5.3 Especificaciones y condiciones de uso de los conductores

- Identificación de los conductores. Sobre la aislación o la cubierta exterior de los conductores, según corresponda, deberán ir impresas a lo menos las siguientes indicaciones:
 - Nombre del fabricante o su marca registrada
 - Tipo de conductor, indicado por las letras de código, por ejemplo, THW, NYA, EVA, etc.
 - Sección en mm² para las secciones métricas y sección en mm² y en paréntesis el número AWG para secciones AWG.
 - Tensión de servicio. Corresponde a la tensión entre fases
 - Número de certificación, si procede.

A.6 Medidas de protección contra tensiones peligrosas

A.6.1 Generalidades

- El valor de resistencia del cuerpo humano se considera igual a 2.000 Ohm, para los efectos de aplicación de esta Norma.
- Para los efectos de aplicación de esta Norma, se considerarán como máximos valores de tensión a los cuales puede quedar sometido el cuerpo humano sin ningún riesgo, 50 V en lugares secos y 24 V en lugares húmedos o mojados en general y en salas de operaciones quirúrgicas en particular.
- Se considerará piso aislante aquel que tenga una resistencia superior a 50.000 Ohm, en instalaciones que operen a una tensión de servicio de 380/220 V y a una frecuencia de 50 Hz.
-

A.7 Instalaciones de fuerza

A.7.1 Conceptos generales

- Exigencias para los equipos
 - Todo motor deberá, traer marcada en forma legible e indeleble y colocada en un lugar fácilmente visible, una placa de características con a lo menos los siguientes datos:
 - Nombre del fabricante o su marca registrada.
 - Voltaje nominal y corriente de plena carga.
 - Frecuencia y número de fases.
 - Temperatura ambiente nominal y elevación nominal de temperatura.
 - Tiempo en que se alcanza la temperatura de régimen permanente partiendo en frío.
 - Potencia nominal.
 - Factor de potencia a potencia nominal.
 - Número de certificado de aprobación entregado por un organismo competente.
 - Los motores de varias velocidades deberán tener indicadas la potencia nominal y corriente de plena carga para cada velocidad.

- Los terminales de los motores y los actuadores deberán estar adecuadamente marcados, de modo que sea posible identificar las conexiones correctas. Los terminales de motores deberán estar encerrados en una caja de conexiones destinada exclusivamente a este fin.

A.7.2 Dimensionamiento de conductores.

- La sección mínima de conductor empleado para alimentar motores fijos será de 1,5 mm².
- La sección de los conductores que alimenten a un motor de régimen permanente será tal que asegure una capacidad de transporte, por lo menos, igual a 1,25 veces la corriente de plena carga del motor.
- La sección de los conductores que alimenten a un grupo de motores de régimen permanente será tal que asegure una capacidad de transporte como mínimo, igual a 1,25 veces la corriente de plena carga del motor de mayor potencia, más la suma de las corrientes de plena carga de todos los motores restantes.

A.7.3 Protecciones y comandos

- Protecciones de sobrecarga:
 - Los conductores de circuito, los motores y los aparatos de control de motores deben protegerse de sobrecalentamientos debidos a sobrecargas, originadas durante la marcha del motor o provocadas por fallas en la partida. La protección de sobrecarga no protegerá contra cortocircuitos o fallas a tierra.
 - Todo motor de régimen permanente cuya potencia sea superior a 1 HP deberá protegerse, contra las sobrecargas, mediante un dispositivo de protección que responda a la corriente del motor. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulado a no más de 1,25 veces la corriente nominal del motor si se trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 ó, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.
 - Los dispositivos protectores de sobrecarga al operar, deberán interrumpir la circulación de corriente en el motor.
- Partidores e interruptores
 - Los motores podrán tener sistemas de partida directa o con tensión reducida. Se entenderá por partida directa a aquella en que en el instante de partida se aplica a los bobinados del motor, conectados en su conexión normal de funcionamiento, la tensión de la red; y por partida con tensión reducida a aquella en que mediante algún dispositivo adicional se aplica a los bobinados una tensión inferior a la de la red o se altera transitoriamente su conexión normal de funcionamiento.
 - Los partidores podrán hacer partir o detener el motor y deberán tener una capacidad de ruptura suficiente como para abrir la corriente de rotor trabado.
 - Cada motor deberá tener su partidor individual. Este podrá ser un actuador de "partida y parada", un actuador estrella - triángulo, un autotransformador, un reóstato u otro aparato similar.
 - Todo motor deberá tener un interruptor que permita desconectar del circuito al motor y a su partidor.
 - El interruptor deberá ubicarse en un punto en que quede con vista al partidor del motor y deberá ser fácilmente accesible.