

Propuesta de mejoramiento en la medición y uso de los recursos disponibles en el área de servicios industriales de Quala Colombia, a partir de las necesidades detectadas desde el área de mantenimiento. (julio de 2023)

Fabian José Ojeda Peña, Servicios Industriales y logística, Quala S.A, Bogotá - Colombia, Fabian.ojed4p@gmail.com.

Resumen - El presente documento recopila toda la información relacionada a la práctica empresarial ejecutada en el área de mantenimiento de la empresa Quala S.A. El documento inicialmente describe las actividades realizadas en los 6 meses de trabajo y los resultados obtenidos hasta la fecha. Finalmente se exponen dos propuestas de diseño, enfocadas al mejoramiento del uso de los recursos energéticos, siendo orientadas al campo de la automatización e instrumentación industrial, las cuales surgieron del levantamiento de datos hecho en la planta.

Gran parte de la información aquí contenida, hace referencia a los entregables suministrados a la empresa, en forma de anexos, los cuales se engloban y permiten sustentar este documento.

Palabras claves: Automatización industrial, mantenimiento, recursos energéticos, mejoramiento.

Proposal for improvement in the measurement and use of available resources in the industrial services area of Quala Colombia, based on the needs detected from the maintenance area

Abstract - This document compiles all the information related to the business practice carried out in the maintenance area of the company Quala S.A. The document initially describes the activities carried out in the 6 months of work and the results obtained to date. Finally, two design proposals are exposed, focused on improving the use of energy resources, being oriented to the field of automation and industrial instrumentation, which arose from the data collection done in the plant.

Much of the information contained herein refers to the deliverables supplied to the company, in the form of annexes, which are included and support this document.

Keywords: Industrial automation, maintenance, energy resources, improvement.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria, es de gran importancia garantizar el correcto funcionamiento de los diversos equipos o sistemas que componen un proceso, esto con el fin de lograr una mayor productividad, disponibilidad y confiabilidad, además de alargar su vida útil [1]. Es por esto que se hace fundamental la implementación de técnicas de mantenimiento, que optimicen los sistemas y recursos, aportando valor en cuanto a la reducción de paradas no planeadas, correcto funcionamiento de los equipos y disponibilidad de estos [2]. En relación con el mantenimiento, la optimización de los procesos juega un papel importante, ya que un proceso que constantemente se está optimizando, finalmente avanza en pro de aumentar su eficiencia, confiabilidad y mejorar su rendimiento; es ahí donde la automatización industrial gana relevancia, integrando múltiples tecnologías que en conjunto buscan optimizar los procesos. [3]

Quala S.A es una compañía multinacional de consumo masivo Colombiana, encargada de producir y comercializar productos referentes a las categorías de bebidas, culinarios, cuidado personal, postres y congelados [4]; a raíz de la gran cantidad de productos que elabora y comercializa, se hace necesario que dentro de su planta existan diversas maquinas encargadas de producir todos estos productos, y por consiguiente es muy importante aprovechar al máximo todos los recursos para así tener una mayor productividad y buenos resultados en el mercado.

Por esta razón es fundamental garantizar la disponibilidad y confiabilidad de todos los equipos que se encuentran presentes dentro de la cadena de abastecimiento, y para lograrlo, se recurre al mantenimiento industrial.

Artículo científico presentado como opción de grado para optar por el título de Especialista en Automatización Industrial.

Autor: Fabian José Ojeda Peña, Ingeniero Mecatrónico, fabian.ojeda@ustabuca.edu.co.

Director: José Leonardo Monroy Hernández. Ingeniero Mecatrónico, jose.monroy@ustabuca.edu.co

II. MANTENIMIENTO

Quala cuenta con múltiples áreas transversales dentro de la cadena de abastecimiento, entre las cuales se encuentra mantenimiento, siendo su principal función la de maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos productivos e instalaciones, con un costo óptimo de mantenimiento. A partir de aquí, se desglosan una serie de labores o actividades que permitan cumplir con esta premisa, y es por tal motivo que en la compañía se divide el mantenimiento en 3 ramas principales [5]:

- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento correctivo programado.
- Mantenimiento correctivo emergente.

El área de mantenimiento abarca múltiples divisiones dentro de la compañía, es decir, todos los procesos productivos donde se fabrican las diversas marcas, y demás procesos operativos.

Entre esos procesos se encuentra el área de logística, quien es la encargada de entregar los productos a los clientes, tanto el producto terminado, como los insumos de materia prima que requiere la planta para operar. Es en este punto donde aparece el rol del cargo Profesional JR de mantenimiento, quien es el encargado de garantizar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos móviles e infraestructura del área de logística.

III. ACTIVIDADES REALIZADAS

Entre las principales funciones y actividades desarrolladas, se desglosan 4 labores que se ejecutaron durante el transcurso de la práctica empresarial:

a. Volcamiento al terreno.

Esta actividad es parte fundamental en el proceso de la gestión del mantenimiento, dado que posibilita la identificación de las oportunidades encontradas en campo, y permite que se puedan gestionar de forma oportuna. Adicionalmente, el contacto frecuente con las áreas cliente, logra una gestión enfocada en las necesidades del área.

Figura 1. Sistema de planificación de recursos empresariales INFOR.



Tomado de [6].

Para poder administrar las necesidades de forma oportuna, el equipo de mantenimiento se apoya en la herramienta INFOR, el cual es un software ERP que se dispone para la gestión de las ordenes de trabajo (Ver Fig. 1) [7]. En este sistema se cargan los requerimientos en forma de OT's (Ordenes de trabajo), las cuales tienen un flujo determinado dependiendo del tipo de

orden (Preventivas o correctivas), y en este punto, el requerimiento pasa a ser gestionado por el equipo de mantenimiento.

Finalmente, se lleva un seguimiento con las diversas áreas cliente, para así tener un control sobre las necesidades encontradas. Dicho seguimiento se realiza en forma de reuniones semanales, en donde se revisan las labores pendientes y se establecen fechas de compromiso (Ver anexo K y anexo L).

b. Gestión del equipo técnico.

El principal apoyo en la ejecución del mantenimiento es el equipo técnico, el cual es un grupo de personas con una amplia experiencia en las labores ejecutadas día a día, y son quienes se encuentran directamente interviniendo tanto a los equipos como la infraestructura del área. El mantenimiento en Quala es enfocado a la detección y prevención de las fallas, es por esto que semanalmente (Desde el área de planeación) se detonan labores de mantenimiento preventivo (Ventana de mantenimiento), las cuales son designadas por los líderes de la ejecución del área, para cada uno de los técnicos. Adicionalmente, a partir de los requerimientos de las áreas cliente, se designan las tareas (Correctivas programadas) que cada uno de los integrantes del equipo debe ejecutar, siendo designadas en el software ERP.

c. Apoyo para garantizar la confiabilidad de activos.

Según [8], cuando se habla de confiabilidad, se hace referencia a la "confianza" que se tiene de que un sistema cumpla su función básica, durante un periodo de tiempo, bajo las condiciones estándares de operación. A partir de este criterio, se desglosan una serie de actividades que son ejecutadas por el área de mantenimiento para lograr la correcta operación de los equipos.

Una de estas actividades consiste en lograr que el mantenimiento preventivo que se realice en los equipos, sea un mantenimiento óptimo, acorde a las recomendaciones de los fabricantes, y para esto, el área de confiabilidad requiere del apoyo del equipo ejecutor para así poder mejorar el impacto que tienen las labores de mantenimiento. En el transcurso del trabajo realizado en la empresa, fue requerido el apoyo en la construcción de un plan de mantenimiento de un activo tipo B, que consiste en un estibador eléctrico de marca TOYOTA y referencia SPE160 (Ver anexo S), para el cual se desarrolló:

- Carta de lubricación
- Plan de mantenimiento
- Lista de comprobación basada en manual
- Taxonomía del equipo

Adicionalmente, se adjunta el manual de servicio del equipo, donde se encuentra la información a detalle de las características y recomendaciones dadas por el fabricante acerca del estibador. Este manual fue suministrado por un proveedor externo a la empresa, dado que es un modelo que fue lanzado desde el año 2006.

d. Administración del presupuesto.

Para poder sostener un equipo de mantenimiento que apoye a la compañía en pro de garantizar la disponibilidad de los

activos, se requiere de una inversión de recursos, que permitan adquirir tanto los insumos como la mano de obra externa necesaria para la ejecución de las diversas tareas.

Es por tal motivo que, desde el área de ejecución, en conjunto con el área de planeación del mantenimiento, se supervisa constantemente el comportamiento del gasto que se tiene en el mes, frente al presupuesto ya establecido en cuanto a labores de mantenimiento, con el fin de llevar un control sobre lo que se ejecuta. Al finalizar el mes, se entrega al área cliente una justificación de los gastos realizados por razones de mantenimiento (Ver anexo T).

IV. RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

La división de mantenimiento es un área transversal dentro de la compañía, y hace parte de una de las 6 áreas transversales existentes, por tanto, mes a mes se analiza el balance que tienen estas áreas en cuanto a las metas establecidas, es decir, para medir sus resultados se utilizan indicadores KPI, que para el área de mantenimiento son los siguientes:

1. Variación del CIF VS Presupuesto.
2. Cumplimiento de correctivos emergentes.
3. Cumplimiento a plan de mantenimiento.
4. Cumplimiento de correctivos programados.
5. Cumplimiento de 4S.
6. Disciplina.

El primer ítem hace referencia al comportamiento que tiene el costo interno de fabricación versus el presupuesto, y esto se hace en base a proyecciones. Los ítems del 2 al 4 son los indicadores referentes al cumplimiento de las ordenes de trabajo. Finalmente, los ítems 5 y 6 son indicadores de organización y disciplina, en cuanto a las llegadas tarde que tienen las personas del área.

A continuación, se refleja el comportamiento de los indicadores desde enero hasta la fecha de entrega del presente documento:

Figura 2. Comportamiento del KPI correctivo emergente del área logística.



El indicador expuesto en la figura 2 muestra el resultado obtenido en cuanto a la gestión de los mantenimientos emergentes, en contraste con el histórico del año 2022 para el área de logística. Este indicador tiene una meta del 96% de cumplimiento, y para el área de logística el resultado hasta la fecha es de 99.04%.

Figura 3. Comportamiento del KPI correctivo programado de logística.



En la figura 3 se muestra un contraste entre el comportamiento del indicador del área de logística, con respecto al indicador de las demás divisiones de mantenimiento de la empresa “%Mensual”, para el mes de mayo. Este indicador posee una meta del 80%, y para el área de logística se encuentra se encuentra en 89.00%. A diferencia del resultado obtenido en el KPI correctivo emergente, este indicador muestra el comportamiento de la gestión de las ordenes desde el mes de diciembre de 2022 hasta mayo de 2023 “%OT’s Histórico”. Cabe resaltar que el cargo se recibe con un indicador inferior al 65%, y se entrega con un valor superior al 85%.

Figura 4. Comportamiento del KPI cumplimiento al plan de mantenimiento del área logística.



Finalmente, en la figura 4 se observa el comportamiento del indicador de cumplimiento al plan de mantenimiento, es decir, el referente al cierre de las ordenes de mantenimiento preventivo (% Actual). Este KPI tiene una meta de cumplimiento del 90%, y para el área de logística se encuentra en una media de 99.05%. Además, en este dashboard se muestra el estado que tuvo el indicador con respecto al año anterior (% OT’s Histórico) durante los meses de diciembre de 2021 hasta mayo de 2022.

V. PROYECTOS DE MEJORAMIENTO

En esta sección se describen las dos propuestas de proyecto (A y B) planteadas en base al levantamiento de información extraído de la planta. Inicialmente se determina el planteamiento del problema, y posteriormente se desarrolla todo el marco descriptivo, desde el levantamiento de información, hasta el diseño de la solución, con alcance, cronograma y costos tentativos para cada una de estas.

A) *Medición de los servicios públicos.*

Quala requiere de un alto consumo de servicios públicos para tener operativa toda la planta, ya que son demandados por todas las maquinas del centro productivo. Para llevar un control sobre el consumo de los procesos, actualmente existe una rutina que realizan los técnicos de mantenimiento, en la cual diariamente deben registrar los datos de los medidores (Energía eléctrica, agua y gas) en una bitácora. No obstante, es un proceso que toma más de 4 horas en completarse en su totalidad dado que se tiene más de 70 medidores, lo cual supone una baja supervisión de los recursos, ya que solo se obtiene una única muestra por día.

1. ARGUMENTO DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.

Los recursos energéticos dentro de una empresa son el impulso que permite generar la productividad de la misma, además de desarrollar competitividad y aumentar el confort de sus trabajadores [9]. De esta forma, se vuelve imprescindible que los equipos e instrumentos de medición cuenten con una buena calibración y una correcta supervisión. Esto con el fin de garantizar confiabilidad en las mediciones y reducir perdidas por datos incorrectos [10]. En Quala se dispone de 3 recursos principales los cuales se requieren para el sustento de la planta, estos son:

- Energía eléctrica.
- Agua.
- Gas.

Dichos recursos hacen posible el funcionamiento de todos los equipos de la compañía, además de permitir la generación de otros recursos adicionales tales como:

- Vapor.
- Aceite térmico.
- Aire comprimido.
- Agua fría.
- Agua osmosis.

Sin estos recursos, tanto los procesos como la gran mayoría de áreas de la empresa dejarían de funcionar. Es por este motivo que es importante garantizar que los servicios públicos cuenten con la total disponibilidad, y que finalmente tanto la confiabilidad como la supervisión de las mediciones sean agentes fundamentales dentro del proceso de distribución de los recursos.

2. GENERALIDADES

La medición de los servicios públicos en Quala se realiza de forma manual. Este proceso se ejecuta diariamente, donde el técnico de mantenimiento realiza un recorrido por todas las ubicaciones donde se encuentra cada medidor y registra su valor en una bitácora de consumos; la empresa cuenta con más de 70 medidores distribuidos entre energía eléctrica, agua y gas:

- 47 contador de agua (Valor de registro en m³).
- 25 medidores de energía eléctrica (Valor de registro en W).

- 3 medidores de gas (Valor de registro en m³).

Estas mediciones se registran por día en la bitácora (Ver Anexo E) y adicionalmente el técnico los vincula al sistema ERP de la empresa (Infor) [6]. Los datos recogidos se disponen para llevar un control del consumo que tienen las plantas, además de permitir realizar una provisión del gasto que se tiene por consumo, es decir, la cuantía monetaria que le cuesta a la planta disponer de estos recursos mes a mes, para posteriormente realizar el cobro independiente de lo que consumió cada proceso en función del cálculo.

3. ELEMENTOS DE MEDICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

En esta sección se abordarán los diversos equipos que se disponen dentro de la planta de Quala, para realizar la medición de los servicios públicos mencionados anteriormente.

a) *Medición de consumo eléctrico.*

La sub estación eléctrica de Quala es la encargada de regular y distribuir la energía eléctrica hacia toda la planta. Esta energía le es suministrada por medio de la red, ingresando a 11400V AC trifásicos, y se utilizan transformadores para lograr obtener valores de tensión deseados. Dicha tensión se regula hasta 440V y a partir de allí comienza la distribución hacia las diferentes plantas.

Para realizar la medida del consumo eléctrico, se utiliza un medidor de la marca Elster, referencia A1800. Este equipo puede medir en un rango de tensión de operación desde 46V hasta 528V (Ver Fig. 5). Adicionalmente, este equipo cuenta con puertos RS-232 y RS-485 para realizar transmisión de datos [11].

Figura 5. *Contador de tensión.*



Tomado de [12].

A partir de la línea principal, se desprenden una serie de tableros de distribución los cuales se encargan de repartir la energía hacia las distintas áreas de la empresa:

- Tablero de distribución 225KVA.
- Tablero de distribución 1000KVA.
- Tablero de distribución 1250KVA.
- Tablero de distribución 2000KVA.

Cada tablero cuenta con un analizador de red de la marca Schneider, de referencia PM5500 (Ver Fig. 6), y adicionalmente, cada proceso tiene un analizador

independiente, para un total de 10 medidores. Este equipo tiene la capacidad de comunicarse a través de Ethernet, RS-232 y RS-485, además de permitir la medición y supervisión en tiempo real de [13]:

- Tensión trifásica.
- Intensidad trifásica.
- Potencia activa, reactiva, y aparente.
- Factor de potencia real y de desplazamiento.
- Frecuencia del sistema.
- Desequilibrio de tensión e intensidad.

Figura 6. Analizador de red PM5500. Tomado de [13].



La distribución de la medición eléctrica con la que cuenta la planta se puede ver reflejada en el apartado “Electricidad” del anexo D, donde se inicia desde el medidor principal, y se reparte la potencia en cada tablero de distribución, quienes, a su vez, entregan la potencia hacia las plantas. Es importante destacar que, dentro de la subestación eléctrica solo se encuentran 3 de los 4 tableros de distribución; el tablero de 225KVA está instalado cerca del casino, lo cual hace que se encuentre descentralizado.

De la misma forma, se dispone de 8 analizadores de referencia PM800 de la serie PowerLogic, los cuales cuentan con la posibilidad de comunicarse a través del protocolo RS485, y poseen funciones similares a la gama 5500 de Schneider (Ver Fig. 7) [14].

Figura 7. Analizador de red PM800. Tomado de [14].



b) Medición del consumo de agua.

El agua que ingresa a Quala desde el acueducto, es recibida en la PTAI (Planta de tratamiento de agua industrial) por dos tanques de 100m³, y desde este punto comienza el proceso de bombeo y distribución. En esta ubicación, se dispone de un sistema hidroneumático de bombeo, el cual se encarga de distribuir agua internamente en la PTAI, la red contra incendios y la red principal, a una presión constante de 80psi [15]. La

tubería principal de salida del hidroneumático tiene un sistema de censado de caudal de la marca SIEMENS, con un sensor de referencia Sitrans Mag 1100 y un transmisor Sitrans F M Mag 6000 (Ver Fig. 8) [16].

Figura 8. Sensor de Caudal. Tomado de [17].



Este bloque compuesto por sensor y transmisor se utiliza únicamente en la PTAI y se dispone para registrar el caudal de las siguientes áreas:

- Salida Hidroneumático.
- Entrada a trenes de filtrado.
- Salida a planta 2.
- Salida a Bon ice.
- Salida a planta 6.
- Salida a planta 7.
- Salida a planta 8.
- Retro lavados.
- Rechazo.

Para tomar la medida del caudal de agua que consumen las diferentes áreas de la empresa, se dispone comúnmente de un solo tipo de medidor, el cual es conocido como flujómetro mecánico o caudalímetro (Ver Fig. 9). Dicho medidor basa su funcionamiento en el movimiento de unas aspas internas, que giran a partir del paso del fluido. Esta rotación es transmitida por medio de un imán hacia un contador el cual registra la medida del flujo que ha transcurrido [18].

Figura 9. Rotámetro. Tomado de [19].



En Anexo A (Distribución de medidores), se puede observar la distribución con la que se encuentran los medidores principales, de los cuales 10 van hacia planta, y están ubicados sobre los muelles de materia prima.

c) Medición del consumo de gas.

Para la medida del consumo de gas, se dispone de un medidor convencional, el cual es proporcionado por el proveedor. No obstante, las plantas disponen del recurso de forma indirecta, es decir, utiliza el gas para generar vapor, y es por esto que no

existe un medidor de gas por proceso. Esta medida del vapor se realiza a la salida de la caldera, en donde cada proceso que lo requiere tiene una salida desde el distribuidor, por ende, participación en el consumo de gas (Ver Tabla 1).

Para realizar la medida del vapor consumido por las plantas, se utiliza un medidor de flujo de la marca Tianjin, de referencia LUGB (Ver Fig. 10). Su principio de funcionamiento es de tipo vórtex, y se encuentra ubicado a la salida hacia cada proceso [20]. Este medidor envía una señal de 4-20 mA que posteriormente es recibida por un PLC.

Figura 10. Medidor de flujo Vórtex. Tomado de [20].



El dispositivo encargado de leer la señal del medidor de flujo es un PLC compacto SIEMENS S7-300, de referencia 6ES7313-6CF03-0AB0 (Ver Fig. 11) [21]. Este equipo se dispone para la supervisión del consumo de vapor de todos los procesos, y despliega la información a través de un HMI de la marca SIEMENS, de referencia 6AV6 647-0AC11-3AX0 (Ver Fig. 12) [22].

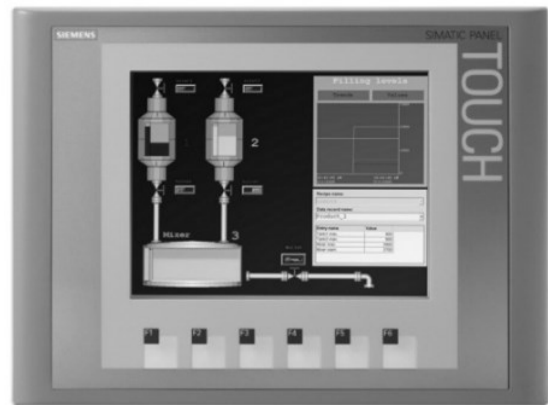
Figura 11. PLC Siemens S7-300 Instalado en campo.



Adicionalmente, el PLC cuenta con una serie de módulos de expansión, entre los cuales se encuentran:

- 2 módulos de 8 entradas analógicas, con resolución de 12 BIT, de referencia 6ES7331-7KF02-0AB0 [21].
- 1 módulo de 32 entradas digitales, de referencia 6ES7321-1BL00-0AA0 [23].
- 1 modulo SIMATIC ET200M / LINK periferia descentralizada, de referencia 6ES7153-2BA82-0XB0 [24].
- 1 modulo SIMATIC DP/PA Coupler, de referencia 6ES7157-0AC83-0XA0 [25].

Figura 12. HMI Siemens. Tomado de [26].



Diariamente el personal de mantenimiento realiza la toma de datos de vapor desde el HMI, en donde los valores consumidos por proceso se tienen centralizados en una de las pantallas, así como también los datos de consumo en tiempo real para cada una de las plantas.

4. REQUERIMIENTO DE SERVICIOS PÚBLICOS POR PLANTA

En Tabla 1. Se puede simplificar el consumo de los recursos energéticos que se tiene por proceso, tanto servicios industriales, como servicios públicos. Cabe resaltar que el consumo de gas no se tiene en cuenta, ya que ningún proceso lo utiliza de forma directa, sin embargo, 5 procesos requieren de vapor, el cual se produce en las calderas, que utilizan gas para funcionar.

Tabla 1. Distribución de recursos energéticos por proceso.

Proceso	Recurso energético						
	Energía eléctrica	Agua	Agua Chiller	Agua PTAI	Aceite térmico	Vapor	Aire comprimido
Refrescos en polvo	✓	✓					✓
Postres	✓	✓					✓
Bonice	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Caldos	✓	✓			✓	✓	✓
Condimentos	✓	✓			✓	✓	✓
Cuidados	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Aromax	✓	✓	✓				✓
Nutribela	✓	✓	✓	✓		✓	✓

De esta forma, se determina la distribución de recursos, facilitando la identificación de los puntos de consumo que tiene cada proceso, para posteriormente poder realizar un análisis de cuáles serán los servicios que se pretende medir con una mayor tasa de muestreo.

5. HALLAZGOS

En el proceso de recolección de datos se suelen generar errores de digitación, esto dado a que la gran mayoría de los medidores tienen más de 10 años de estar instalados y guardan humedad interna, lo que hace que sea complejo tomar la medición de forma correcta. De igual manera, luego de la recolección de datos, estos se ingresan de forma manual al sistema ERP, llegando a generar errores en la escritura.

Se encuentra que la medida del gas no se cobra a plantas directamente por consumo registrado en el medidor, sino por el consumo del vapor generado por la caldera, la cual funciona a gas, y se registra a partir de los flujómetros de vapor. Finalmente, la frecuencia con la que se registran los datos se limita solo a 1 registro por día, lo cual hace que no se tenga una supervisión constante de consumo, impidiendo así alertar sobre el mal comportamiento, por ejemplo, por consumo excesivo.

6. PROPUESTA DE SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN REMOTO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

La empresa Quala actualmente con más de 40 marcas fabricadas en Colombia, requiere de una amplia infraestructura y variedad de equipos, que logren suplir la demanda de los productos. Es por esto que, a raíz de la gran cantidad de equipos con los que se cuenta, el consumo de recursos energéticos se dispara en función de la operación, y es de vital importancia tener una correcta supervisión de su comportamiento.

Sin estos recursos, el funcionamiento de la planta se vería afectado, siendo imposible producir sin ellos, y es por tal motivo que se hace importante medir y supervisar el consumo que se tiene en cada uno de los procesos productivos, ya que en últimas, el uso de los recursos se traduce en costos monetarios para la empresa. Según [27], Al realizar una buena medición y monitorización de los recursos energéticos, se puede llegar a lograr una reducción del consumo energético.

A partir de la información levantada en campo, se realiza el planteamiento de una solución basada en el monitoreo remoto de los recursos energéticos, con una supervisión que tiene un menor tiempo de muestreo en comparación con el tiempo actual, aprovechando los recursos y equipos con los que se cuenta actualmente.

7. JUSTIFICANTE DEL PROYECTO.

En base en el informe de levantamiento de datos presentado en el anexo B, se puede evidenciar diversos puntos clave de mejora dentro del proceso de medición y supervisión de los datos, entre los cuales se destaca que la adquisición de los valores de consumo se realiza de forma manual, donde diariamente los datos son registrados en una bitácora, y suelen presentarse errores en la escritura. De forma análoga, la supervisión que se tiene del consumo en general de la planta se reduce a 1 muestra diaria, lo cual limita conocer el comportamiento energético de la planta durante el día.

Por estas razones, se plantea la adaptación de un sistema de supervisión de recursos, que permita la transmisión y despliegue de datos sin la intervención de terceros, en donde se puede hacer la adquisición de información de forma remota, logrando un mayor muestreo de datos durante el día, y de esta manera poder analizar el comportamiento energético de la planta más a detalle.

8. ALCANCE

Se plantea un sistema de monitoreo y supervisión remoto que sea capaz de lograr la adquisición de datos de consumo eléctrico y de vapor de forma remota, con un tiempo de muestreo inferior al actual, que pueda mostrar a detalle el comportamiento energético y que permita generar reportes del estado del recurso. Utilizando la tecnología ya instalada en campo, sacando el máximo provecho de los equipos e implementando los protocolos de comunicación admitidos por estos componentes.

A partir del informe de recopilación de datos (anexo B) se decide inicialmente apuntar hacia la supervisión del recurso eléctrico y vapor, dado a que los equipos de medición se encuentran centralizados en un tablero, lo cual facilita el cableado y la comunicación. No obstante, se espera a futuro escalar el sistema hacia los servicios que no se encuentran centralizados, como lo es el agua, para el cual se requiere de una inversión en una gran cantidad de medidores de flujo.

9. CONCEPTOS GENERALES

➤ *Monitoreo Remoto*

Un sistema de monitoreo remoto es aquel que brinda la capacidad de automatizar la adquisición de datos, sin la necesidad de que haya intervención humana en el proceso.

Este sistema tiene la posibilidad no solo de recopilar datos, sino que también permite analizarlos, para posteriormente facilitar la toma de decisiones, teniendo tiempos de respuesta más rápidos [28].

➤ *Sistema SCADA.*

Según [29], un SCADA (por sus siglas: supervisión, control y adquisición de datos) es aquel sistema que permite gestionar y controlar cualquier sistema local o remoto, mediante el uso de una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema. Este tipo de interfaces o aplicaciones se suelen diseñar para ordenadores o HMI's (Interfaz humano-maquina), y son el canal de comunicación con los diversos equipos montados en campo, permitiendo control y supervisión sobre estos [29].

➤ *Protocolo de comunicación.*

En [30] se define protocolo de comunicación como aquel compendio de reglas y formatos de mensajes que se establecen para lograr la comunicación entre un emisor y un receptor. Estas reglas comprenden la temporización de los mensajes, su secuencia, la revisión y la corrección de errores [31].

➤ *Modbus RTU.*

Es un protocolo de comunicación que se basa en la arquitectura cliente-servidor o maestro-esclavo. La transmisión de datos se hace de forma serial, pudiendo implementarse sobre RS-232, RS-422 y RS-485, en donde los diferentes equipos se

encuentran montados sobre un bus, el cual es representado por un par trenzado blindado de cables (Ver Fig. 13) [32].

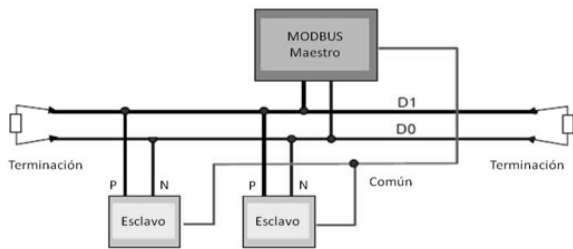
Figura 13. Par trenzado. Tomado de [33].



Dentro de este protocolo existe un dispositivo maestro y hasta 247 esclavos. Estos dispositivos “esclavo” cuentan con un identificador de 8 bits, y únicamente tienen la capacidad de enviar información sobre el bus a partir de la solicitud realizada por el maestro. Esta solicitud tiene dentro de su estructura el valor identificador del esclavo al que se realiza la petición [32].

En la figura 14. se puede observar una arquitectura simplificada de la topología de red de Modbus RTU, en donde todos los equipos se encuentran montados sobre un bus, tanto el dispositivo maestro, como los esclavos.

Figura 14. Conexión de los dispositivos en red bajo el estándar RS-485 por Half-Duplex. Tomado de [34].

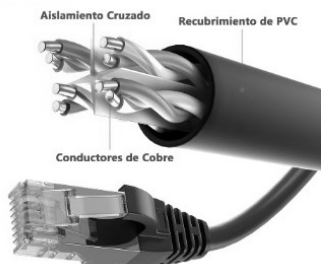


➤ *Modbus TCP/IP.*

Este protocolo de comunicación surge como una variante del protocolo base Modbus, ejecutado bajo un entorno de red comúnmente conocido como “internet” [35]. Es común asociar este protocolo con Modbus RTU, ejecutado sobre ethernet, donde la participación de “TCP” consiste en lograr que todos los paquetes son correctamente recibidos; por otro lado, la función de “IP” es la de permitir que los paquetes sean puestos correctamente en el destinatario asignado a su dirección [36].

Su capa física se basa en la norma EIA/TIA 658, la cual caracteriza tanto al conector (RJ45) como al código de colores que debe poseer el cable [37]. Su medio de transmisión, permite interconectar 8 señales, por medio de un cable UTP (Ver Fig. 15), siendo 4 de estas señales destinadas a la recepción y transmisión de datos.

Figura 15. Cable UTP CAT 6. Adaptado de [38].



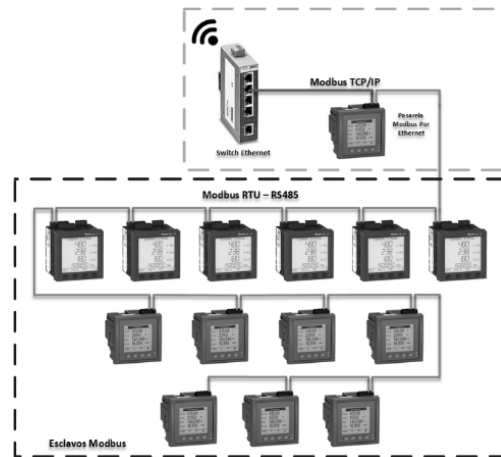
10. TOPOLOGÍA DE RED

La propuesta de solución se realiza en base al informe de levantamiento de datos (anexo B), en el cual se describen los componentes montados en campo y la distribución que tienen. A partir de dicha información, se propone un sistema que recopila los datos de 3 tableros de distribución, los cuales cuentan con un analizador de red por cada punto al cual se distribuye la potencia (18 analizadores de red).

Durante el estudio de los analizadores de red instalados, se encuentra que todos los dispositivos permiten una comunicación vía RS-485, lo cual puede permitir su gestión mediante Modbus RTU. En base a [13], con respecto a la configuración y el tipo de puertos con los que cuentan los medidores PM5500, se plantea una comunicación mediante Modbus RTU, aprovechando el puerto de RS485 común que tienen todos los dispositivos.

Partiendo de este análisis, se opta por relacionar todos los equipos en una conexión punto a punto, mediante RS-485 (recomendada por el fabricante). Finalmente, se plantea disponer de la configuración “pasarela Modbus por Ethernet”, la cual permite utilizar una central de medida PM5500 como un puente de comunicación vía ethernet, centralizando todos los medidores esclavo aguas abajo. El dispositivo concentrador recibe información por medio de TCP/IP a través del puerto 502, y convierte los datos a Modbus RTU para comunicarse con los demás equipos esclavo (Ver Fig. 16).

Figura 16. Topología para conexión de centrales de medida. Adaptado de [13], [14], [39], [40].



En la figura 16 se describe la posible conexión entre las centrales de medida instaladas en los tableros de distribución de potencia; cabe resaltar que la conexión se debe realizar punto a punto por recomendación del fabricante (evitando el montaje sobre un bus). Según [13], se debe asignar una dirección Modbus a cada central de medida, teniendo en cuenta que se pueden configurar hasta 247 dispositivos dentro de la red. Los parámetros: Protocolo, Velocidad Baudios, y paridad, deberán ser los mismos para cada equipo esclavo.

11. MONITOREO DE DATOS

La etapa aguas arriba es la encargada de supervisar y gestionar todos los recursos (centrales de medida) que se

encuentran distribuidos en los tableros. Comúnmente se suelen desarrollar dos modelos de solución para realizar el monitoreo y la gestión de forma remota: La primera consiste en implementar un sistema con un servidor web, que presente los datos mediante una aplicación, y administre la información almacenada dentro de una base de datos. Este modelo es más adaptable a los requerimientos, sin embargo, necesita de un desarrollo de código bastante avanzado. La segunda solución se basa en implementar un gestor de información ya desarrollado, el cual facilite el despliegue de información y la gestión de todos los recursos, con plantillas ya desarrolladas.

Para realizar el proceso de supervisión remoto, se propone disponer del recurso “Power Monitoring Expert - PME” de la marca Schneider (Ver Fig. 17), el cual es un software presentado como herramienta de monitoreo y análisis energético, utilizado para gestionar los datos entregados por los diferentes equipos de medición, y presentar la información de manera que pueda ser útil para la toma de decisiones [41].

Figura 17. Dashboard simulado para el costo energético de los servicios públicos en PME. Tomado de [42].



Este sistema de gestión cuenta con múltiples herramientas de monitoreo en tiempo real, las cuales permiten visualizar el comportamiento energético de las diversas centrales de medida instaladas en campo aguas abajo. El software está diseñado bajo 4 pilares fundamentales en los que se encuentra enfocado, los cuales son [43]:

- Monitoreo personalizado en tiempo real.
- Análisis y visualización de datos.
- Gestión de alarmas y eventos.
- Infraestructura técnica y robusta.

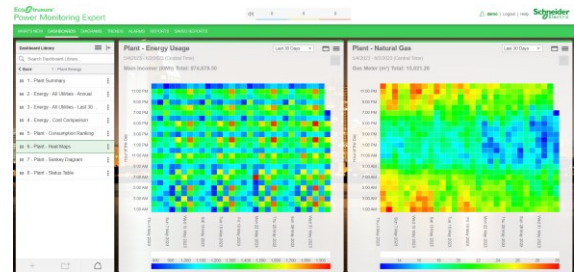
El sistema de gestión energético, cuenta con múltiples dashboards que logran mostrar de manera visual el comportamiento del consumo energético, no solo eléctrico, sino también de agua, y gas, en aras de escalar el proyecto a la gestión de los demás recursos. De esta manera, es posible alcanzar una mayor supervisión de todos los recursos que se puedan tener dentro de una planta de producción.

Se puede resumir en 5 apartados principales con los que cuenta PME, entre los que se encuentran:

i. Dashboards

El software permite la visualización del comportamiento del uso de los recursos energéticos, además de posibilitar la adaptación de diferentes dashboards que sean requeridos. En [42] se presenta una simulación del software, en la cual se muestran múltiples dashboards que representan el comportamiento de una planta de producción (Ver Fig. 18).

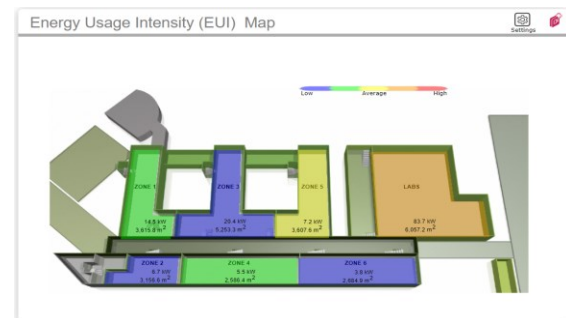
Figura 18. Dashboard de mapa de calor que representa el uso de energía y gas de la planta simulada. Tomado de [42].



ii. Diagramas

Es posible representar de forma visual cualquier área que se pueda tener dentro de la planta, lo cual facilita la monitorización de un proceso específico de forma resumida, presentando la información visual de los recursos físicos instalados y mostrando el comportamiento energético de dicho proceso (Ver Fig. 19).

Figura 19. Diagrama simulado del comportamiento del consumo energético por zonas. Tomado de [42].

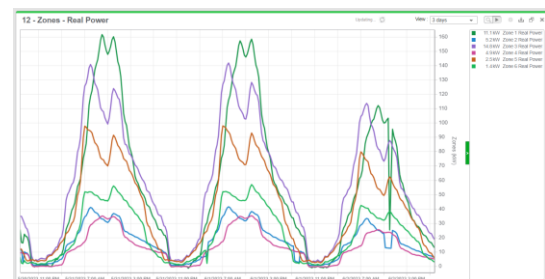


Es importante resaltar que este comportamiento energético se actualiza en tiempo real, sin embargo, depende del tiempo de muestreo que se establezca, como también de los equipos de los que se disponga para hacer las mediciones [43].

iii. Tendencias

Los gráficos de tendencia son parte fundamental a la hora de supervisar en tiempo real el comportamiento de los procesos, dado que se pueden observar a detalle las múltiples variaciones del estado de la energía a lo largo del tiempo, lo cual posibilita llevar un histórico del consumo y tener supervisión a detalle (Ver Fig. 20).

Figura 20. Gráfico de tendencias en simulación del consumo de potencia real durante 3 días por zonas. Tomado de [42].



Dependiendo de los analizadores de red con los que se cuente, es posible realizar un diagnóstico del comportamiento

no solo de consumo, sino también de otros factores tales como históricos de demanda de potencia, voltajes promedio L-L, históricos de potencia reactiva y factor de potencia, reducción de armónicos, entre otros (Ver Fig. 21).

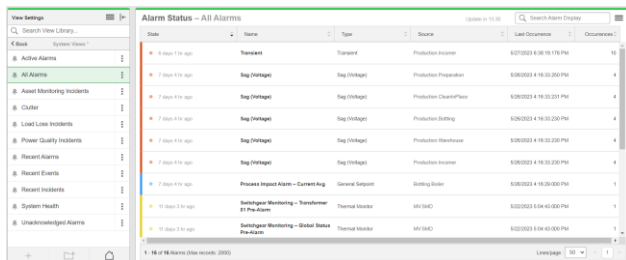
Figura 21. Gráficos de tendencia en simulación para múltiples variables del consumo de energía. Tomado de [42].



iv. Alarmas

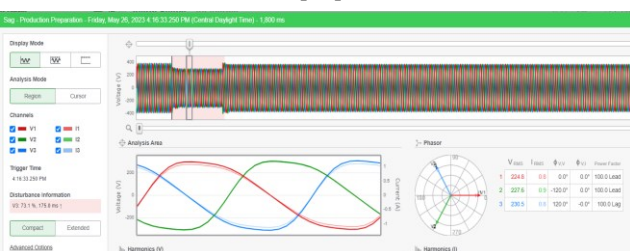
Un punto clave en la supervisión de la energía, es la rapidez con la que podemos detectar la presencia de cualquier incidencia o variación en el comportamiento normal de los recursos energéticos. PME cuenta con un apartado donde se registran los diferentes comportamientos anómalos mediante alarmas, la criticidad que representan, el tipo de incidencia, la cantidad de veces que ha ocurrido, el área a la cual está relacionada y, la fecha y hora exacta del suceso (Ver Fig. 22).

Figura 22. Gráfico simulado de registro de todas las alarmas ocurridas en la planta. Tomado de [42].



En la simulación se presentan ciertas caídas de voltaje, las cuales son consideradas como críticas, y es posible hacer una revisión a detalle de lo ocurrido, es decir, aparte de la ubicación y el tipo de la falla, el software permite visualizar el comportamiento de la forma de onda al momento de la caída de tensión, como también la representación fasorial en el tiempo (Ver Fig. 23). No obstante, depende directamente del tipo de medidor con el que se cuente para utilizar ciertas aplicaciones.

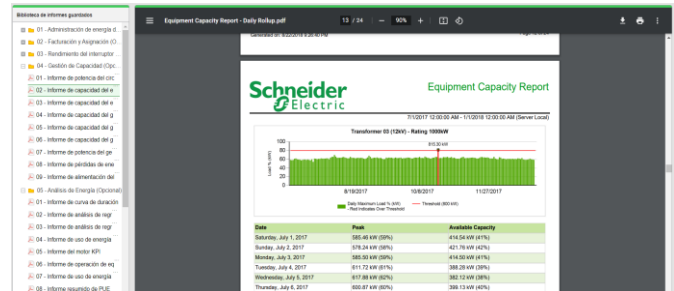
Figura 23. Simulación de forma de onda al momento de una caída de tensión. Tomado de [42].



v. Reportes

Los reportes del comportamiento energético son básicamente un resumen la información deseada en un documento, el cual permite dar a conocer los datos de manera organizada y puede facilitar la toma de decisiones. PME cuenta con un gestor de reportes que permite generar de manera automática los informes que se deseen, con la información que sea requerida (Ver Fig. 24).

Figura 24. Simulación de reporte de capacidad de un transformador de 1000kW frente al consumo durante 6 meses. Tomado de [42].



12. PASARELA MODBUS POR ETHERNET

Se denomina “pasarela modbus” al puente a través del cual podemos convertir o relacionar la información desde un protocolo modbus hacia otro protocolo [44]. Tal como se describió en los elementos de medición de la energía eléctrica (anexo B), en los tableros de distribución se cuenta con 10 analizadores de red PM5500, los cuales admiten el uso de los protocolos de comunicación Modbus RTU y Modbus TCP/IP. Adicionalmente, los analizadores PM5500 pueden funcionar como un dispositivo concentrador, el cual es capaz de acoplarse a la trama de datos sobre RS485, concentrar la información modbus, para finalmente transmitir mediante TCP los datos, funcionando como un analizador maestro (Ver Fig. 16).

Figura 25. Analizador de red PM5500 instalado en tablero de distribución.



En la figura 25 se puede observar que el PM5500 cuenta con las borneras de RS485, como también con 2 puertos Ethernet. De esta manera, cualquiera de los 10 equipos se puede convertir en el dispositivo maestro, como también en esclavos mediante Modbus RTU. Es importante resaltar que la configuración de todos los participantes dentro de la trama Modbus se debe realizar uno a uno, directamente desde la configuración del dispositivo [13].

13. SUPERVISIÓN DEL RECURSO DE VAPOR

A partir del anexo B, se evidencia que en el área de calderas existe un sistema SCADA, encargado de supervisar y controlar el flujo de vapor que se entrega a las diferentes plantas de Quala (Ver Tabla 1 del anexo B). Este sistema está compuesto por un PLC de la serie S7-300, un HMI y 5 módulos externos, todos de la marca SIEMENS. Esto representa una ventaja ya que todas las variables de vapor se encuentran centralizadas, sin embargo, estos dispositivos no admiten directamente una configuración de tipo esclavo Modbus [45]. Por esta razón, es necesario acoplar un módulo de comunicaciones externo, que permita relacionarse con un estándar compatible con PME (Modbus RTU) y que sea compatible con SIEMENS.

Figura 26. Modulo Procesador de comunicaciones CP 341. Tomado de [46].



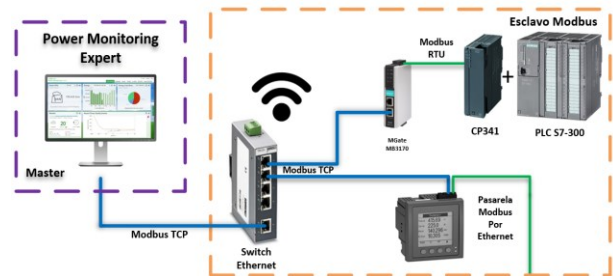
Para lograr la transmisión de los datos recopilados por el PLC, es necesario el uso del módulo CP 341 (Procesador de comunicaciones) de la marca SIEMENS, de referencia 6ES7341-1CH02-0AE0, el cual se encuentra diseñado para la serie S7-300 (Ver Fig. 26) [46].

Este dispositivo tiene la característica de permitir una configuración en modo maestro/esclavo mediante drivers de protocolo ya instalados, sin embargo, se encuentra diseñado únicamente para la transmisión de datos de forma serial [47]. Para permitir la comunicación con PME, es importante resaltar que el software está cumpliendo el papel de maestro, dado que es quien realiza las peticiones, sin embargo, para admitir la transmisión desde el módulo CP341, se requiere de un dispositivo que funcione como pasarela entre Modbus RTU hacia Modbus TCP, dado que la transmisión final se realiza

sobre TCP (Ver Fig. 27). Por tanto, se hace necesario agregar a la red un dispositivo que funcione como puerta de enlace Modbus, y se propone disponer del equipo MGate MB3170 de la marca MOXA, el cual funciona como una pasarela entre protocolos Modbus, y cuenta con un software para configurar su modo de funcionamiento y las direcciones requeridas de los dispositivos [48].

En la figura 27 se describe la topología de red de la conexión entre los equipos, en la cual se dispone de un switch de ethernet industrial que cuenta con 5 puertos, de referencia SFNB 5TX 2891001 marca Phoenix Contact [40]. Este switch permite conectar a todos los dispositivos dentro de la red, tanto a los recibidos por los analizadores, como a los provenientes del PLC mediante el CP341.

Figura 27. Topología de conexión de los dispositivos. Adaptado de [13], [40], [45], [48]–[50].



14. COSTOS

A partir de los requerimientos propuestos para la implementación del proyecto, se realiza la tabla 2, en la cual se exponen todos los elementos necesarios, y adicionalmente se describen sus características, tales como su referencia, la marca del fabricante, si dispone de un MR (Código de repuesto existente en Quala) o similar, la cantidad requerida y finalmente su costo promedio.

El valor que tienen estos equipos se estima en base a las referencias comerciales encontradas en el mercado, y se representa como un valor medio. Cabe resaltar que el costo de la licencia se representa como un valor unitario, sin embargo, este valor se verá reflejado mes a mes a partir de la adquisición del software.

Tabla 2. Costos estimados para la implementación del proyecto.

Descripción						
Elemento	Referencia	Marca	MR/Similar	Cantidad	Precio (COP)	
Cable RS485	XBTZ9686	Schneider	MR007636	15M	\$ 870.000	
Cable UTP CAT5 (4 HILOS)	6XV1840-2AH10	SIEMENS	MR007658	150M	\$ 1.500.000	
Conectores RJ45 Macho	1963590000 IE-PS-RJ45	Weidmuller	MR007659	8U	\$ 250.000	
Switch Ethernet Industrial	2891001	Phoenix Contact	MR0503072	1U	\$ 560.000	
Modulo Procesador de Comunicaciones CP341	6ES7341-1CH02-0AE0	SIEMENS	N/A	1U	\$ 6.300.000	
Modulo Gateway	MGate MB3170	MOXA	N/A	1U	\$ 1.400.000	
Licencia PME	DL-E PSWDENCZZNPEZZ	Schneider	N/A	1U	\$ 180.000	
Fungibles	N/A	N/A	N/A	-	\$ 70.000	
Mano de obra	N/A	N/A	N/A	680h	\$ 10.200.000	
Total						\$ 21.330.000

Finalmente, el costo de horas hombre en mano de obra es extraído a partir de un valor promedio, y el tiempo de 680h es determinado en el diagrama de Gantt presentado en el anexo R.

15. CRONOGRAMA

El tiempo de implementación del proyecto nace de un valor estimado, dado que depende de múltiples variables, entre las que prima el tiempo estimado de llegada de los elementos. Sin embargo, a partir de la llegada de todos los equipos, se calcula un tiempo medio de implementación de 145 días, y la aproximación nace de las siguientes actividades:

- Solicitud de punto de red – 30 días.
- Llegada estimada de todos los elementos – 60 días.
- Configuración de equipos – 5 días.
- Instalación de cableado – 12 días.
- Programación de equipos – 20 días.
- Configuración de dashboard's – 60 días.

Esta aproximación se realiza en base a tiempos estimados de cotizaciones hechas por 2 proveedores de la empresa, y se plasma el tiempo de la ejecución en un diagrama de Gantt en el anexo R.

16. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

Se realiza un informe de la propuesta en forma de proyecto con alcance, cronograma y costos estimados, el cual beneficiaría a la empresa en cuanto al aumento de la supervisión del recurso energético, permitiendo determinar su comportamiento y mostrarlo de una manera grafica por medio de dashboard's.

El proyecto pretende mejorar la confiabilidad del servicio entregado a la planta, al tener un análisis de los recursos energéticos a detalle en tiempo real. De forma adicional, al tener un sistema de gestión de alarmas, facilita la toma de decisiones frente a los posibles incidentes que puedan llegar a presentarse con respecto al suministro energético, además de generar reportes de su estado.

Finalmente, se busca tener la supervisión de todos los recursos energéticos de la planta, para así, en un futuro poder determinar la eficiencia energética de la planta durante el transcurso del día, con el acompañamiento del área de producción.

B) Sistema de enfriamiento de agua "Chiller".

El sistema de enfriamiento de agua de la planta es un equipo compuesto por un tanque pulmón, una serie de bombas y dos equipos de enfriamiento "Chiller", los cuales trabajan en conjunto para suministrar el agua fría hacia los procesos, que por lo general se dispone para el enfriamiento de mordazas e intercambiadores de placas.

- Bonice.
- Aromax.
- Nutribela.
- Fortident.

No obstante, este sistema actualmente funciona de forma manual, es decir, el técnico de mantenimiento es el encargado de activar las bombas para permitir el suministro de agua fría hacia los procesos. Adicionalmente, las bombas de suministro a los procesos permanecen encendidas durante toda la semana, lo cual hace que se recircule agua de manera innecesaria, dado que no existe un control sobre el suministro, y por consiguiente se genera un gasto energético para la planta.

1. ARGUMENTO DEL LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL PROYECTO.

Un sistema de enfriamiento de agua, comúnmente conocido como "chiller", es una maquina cuyo fin es enfriar un medio líquido, que generalmente es agua [51]. En esencia, su funcionamiento se basa en la extracción del calor producido en un proceso, por medio de un ciclo de refrigeración por absorción, utilizando un intercambiador de calor el cual enfría el agua que ingresa, para entregarla de nuevo al proceso [51].

En Quala, se cuenta con dos chillers dispuestos para suministrar el agua fría que requieren los diversos procesos; uno de estos equipos se utiliza como back-up durante rutinas de mantenimiento al chiller principal. El sistema se implementó desde hace más de 10 años dentro de la compañía, y se busca optimizarlo, de forma tal que se pueda sacar el mayor provecho, reduciendo costos, utilizando automatización industrial e instrumentación.

2. CARACTERÍSTICAS DE UN CHILLER.

a) Descripción.

En concordancia con lo mencionado anteriormente, un chiller es un dispositivo de enfriamiento de agua, el cual permite extraer el calor presente dentro de un fluido, por medio de un intercambio de calor [51]. Quala dispone de dos chillers de la marca York, con capacidades de 100TR y 200TR (Toneladas de refrigeración) [52]. Ver Fig. 28. y 29.

Figura 28. Chiller York 200TR.



Su estado de funcionamiento actual se basa en la disposición del equipo de 200TR durante el transcurso de la semana, siendo encendido de forma manual por lo general los días lunes a las 5 de la mañana hasta el día sábado a las 6 de la tarde, o dependiendo del proceso que lo requiera. El proceso para el encendido del equipo se realiza desde el tablero de control principal, y el tiempo para alcanzar el estado estable de temperatura requerido es de 1 hora aproximadamente, siendo esta temperatura de 7 °C.

El equipo de 100TR se tiene como back-up, sin embargo, se pone en funcionamiento cuando el chiller principal sale a mantenimiento, el cual se realiza con una frecuencia trimestral y dura aproximadamente 2 días. Este mantenimiento es realizado por el proveedor Johnson Controls.

Figura 29. Chiller York 100TR.



b) Principales Componentes.

En general se suelen tener dos tipos de chiller, los enfriados por aire y los enfriados por agua; su diferencia principal radica en la fuente que se utiliza para el intercambio de calor [53]. Tanto el equipo principal como el equipo back-up son enfriados por aire, y entre sus partes principales se encuentran:

- Compresor de tornillo
- Bombas
- Evaporador
- Condensador
- Circuito de refrigerante
- Ventiladores
- Centro de control por computador

La referencia del equipo principal es YVAA0218CDV46BA, de la marca YORK; cuenta con un compresor de tornillo de velocidad variable y es enfriado por aire. Tiene un rango de tensión de operación entre 414V y 508V AC trifásica a 60Hz [54]. Por otro lado, el chiller de 100TR es de referencia YLAA0101HE46. Cuenta con un compresor de tornillo de velocidad variable y es enfriado por aire. Su tensión de operación en la unidad de potencia es de 460V trifásica a 60Hz, y la tensión de la unidad de control es de 115V monofásica a 60Hz [55].

c) Sistema de Control.

Ambos equipos, tanto el de 100TR como el de 200TR cuentan con sistemas de control centralizados, que permiten realizar de forma automática diversas tareas del chiller (Ver Fig. 30). Entre las funciones básicas que permite realizar el equipo se encuentran [54]:

- Arranque/parada de compresor.
- Velocidad de los ventiladores del condensador.
- Arranque/parada de la bomba del evaporador.
- Contactos de alarma de la unidad.
- Contactos de alarma de señal de funcionamiento.

Figura 30. Sistema de control por microcomputador Chiller 200TR.



Este sistema permite “setear” la temperatura de consigna del líquido de salida, y ajusta todos los sistemas del chiller para lograr esta temperatura. Además, se pueden consultar diferentes datos dentro del display [54]:

- Temperatura de retorno y salida del líquido frío.
- Temperatura ambiente.
- Identificación de compresor inicial.
- Reloj y programación.
- Últimas 10 paradas por anomalía.
- Presiones y temperaturas de aspiración y descarga de los compresores y del aceite.
- Horas de funcionamiento y arranque.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DISPUESTOS DENTRO DEL CUARTO CHILLER.

En esta sección se abordan los diferentes equipos y elementos que se encuentran actualmente instalados dentro del cuarto chiller, sus características, capacidades y la disposición con la que figuran actualmente. Se tienen los siguientes subsistemas a continuación:

1. Actuadores

1.1. Bombas

Actualmente el cuarto del chiller dispone de 13 bombas centrífugas, de las cuales 3 son utilizadas para el bombeo de agua desde el tanque hacia los chillers, y los 8 restantes se utilizan para el bombeo de agua desde el tanque hacia los diferentes procesos (ver Fig. 31).

Figura 31. Bombas de descarga hacia procesos.



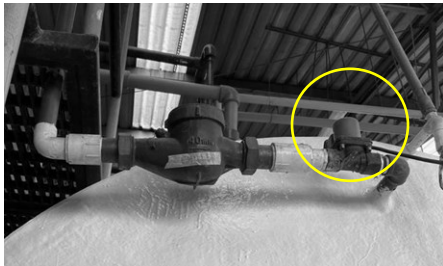
El chiller principal tiene asociadas dos bombas: PCH200 y PCH200 back up, respectivamente. El chiller de respaldo cuenta con una sola bomba: PCH100 (ver Tabla 3). Estas bombas tienen la característica de ser acopladas o de “eje libre”, lo cual permite el uso de diferentes motores, convirtiéndolas en motobombas (ver Fig. 32) [56].

Figura 32. Bomba de eje libre. Tomado de [56].

En la Tabla 3. Se describen las especificaciones de las bombas que envían agua fría hacia los diversos procesos de Quala, describiendo la referencia, la potencia HP, su tensión de trabajo, el caudal en m³/h, las revoluciones por minuto y utilizan si disponen de variador.

1.2. Electroválvula

El tanque pulmón, cuenta con una electroválvula solenoide marca DANFOSS de referencia 032K143690 (Ver Fig. 33), la cual se dispone para controlar la entrada de agua al tanque pulmón y de esta manera evitar que se quede sin agua. Funciona a 220V – 60Hz y tiene un consumo de potencia de 10W [57].

Figura 33. Electroválvula Danfoss.

2. Sensores y elementos de medición

2.1. Sensor ultrasónico de nivel.

Se dispone de un sensor ultrasónico de nivel SIEMENS con referencia 7ML12011EF00, el cual supervisa la altura del agua dentro del tanque (Ver Fig. 34). Este sensor envía una corriente de salida de 4 a 20 mA y hace posible que el PLC pueda supervisar y controlar el nivel de agua, enviando una señal a la electroválvula para así permitir el ingreso de agua y evitar que las bombas trabajen en vacío [58].

Figura 34. Sensor ultrasónico de nivel SIEMENS.

2.2. Sensor de temperatura PT100.

El sensor de temperatura se dispone para censar y posteriormente permitir control de la temperatura dentro del tanque (Ver Fig. 35). Este sensor RTD está ubicado en la parte posterior del tanque pulmón, el cual está acoplado a un transmisor de temperatura y envía una señal de 4-20 mA hacia el PLC, el cual supervisa la temperatura y genera una alarma cuando se presentan temperaturas fuera del rango de operación.

Figura 35. Sensor de temperatura PT100.

2.3. Termómetro

Se cuenta con 5 termómetros de la marca WIKA, los cuales se utilizan para supervisar la temperatura del agua que entra y sale de cada chiller, como también el agua del tanque pulmón (Ver Fig. 36). Estos sensores cuentan con un rango de medida entre -30°C y +500°C y su construcción es en acero inoxidable [59].

Figura 36. Termómetro a la salida de agua fría chiller 200TR.

2.4. Rotámetro.

Se utilizan flujómetros o “contadores de agua” de la marca Acquatti, de los cuales se lleva un registro diario del consumo de agua (en metros cúbicos) que ha pasado a través de los diferentes procesos a los que se distribuye el agua (Ver Fig. 37).

Figura 37. Rotámetro. Tomado de [19].

3. Tableros de control

3.1. PLC

El tablero cuenta con un PLC compacto marca SIEMENS de referencia 6ES7313-6CF03-0AB0, el cual tiene 16 entradas digitales, 16 salidas digitales y es alimentado a 24V [45]. Este equipo se encarga de controlar el encendido y apagado de los chillers, el arranque de las bombas, el control sobre los variadores y desplegar la información dentro del HMI (Ver Fig. 38).

Figura 38. PLC compact SIEMENS instalado en campo.



Adicionalmente, el PLC está conectado a los siguientes módulos:

- Procesador de comunicaciones SIEMENS CP 343-1 Lean [60].
- 2 módulos de 31 entradas digitales a 24V SIEMENS 6ES7321-1BL00-0AA0 [61].
- Módulo de 16 salidas digitales a 24V SIEMENS 6ES7322-1BH01-0AA0 [62].
- Módulo de 8 entradas analógicas con resolución de 13 bits SIEMENS de referencia 6ES7331-1KF01-0AB0 [63].
- Módulo de 4 salidas analógicas con resolución de 12 bits SIEMENS de referencia 6ES7332-5HD01-0AB0 [64].
- Fuente de tensión estabilizada SIEMENS 6EP1333-3BA00, la cual alimenta a los diferentes módulos. [65].

3.2. HMI

Se utiliza una HMI de 6" táctil marca SIEMENS, de referencia 6AV6642-0BA01-1AX1 alimentada a 24V [66]. Este equipo se dispone para controlar y supervisar el estado de:

- Arranque/parada de los chiller's.
- Arranque/parada de bombas de chiller.
- Arranque/parada de bombas de procesos.
- Modos de funcionamiento manual y automático de bombas.
- Horómetros de funcionamiento de bombas y chiller.

Adicionalmente, existe una comunicación PROFINET entre el PLC y el HMI la cual permite el intercambio de datos.

3.3. Variador

El tablero de control cuenta con 6 variadores dispuestos para las bombas, es decir, algunas de estas bombas funcionan a plena carga sin realizar alguna modificación en su frecuencia. 2 de estos equipos son de la marca SIEMENS con referencia

6SL3210-1KE23-8UP1 alimentados con 440V a 60Hz trifásicos, capaces de alimentar un motor de hasta 25Hp [67]. Estos variadores se destinan para la bomba del chiller principal de 200TR y para su bomba de respaldo (Ver Fig. 39).

Figura 39. Variador SIEMENS.



Adicionalmente, se dispone de 4 variadores de frecuencia trifásicos alimentados a 440V y 60Hz, para los procesos:

- Bioexpert, con motor de 20Hp.
- Aromax, con motor de 6Hp.
- Fortident, con motor de 6.6Hp.
- Aromatel, con motor de 9Hp.

Tres de los variadores son capaces de soportar motores de hasta 10Hp, y se disponen para los procesos Aromatel, Fortident y Aromax; de marca OMRON, con referencia 3G3MX2-A4075-V1 (Ver Fig. 40). Por otro lado, para suplir el requerimiento de la planta Bioexpert, se utiliza un variador OMRON de 20Hp con referencia 3G3MX2-A4150-V1 y un consumo de corriente de 35.9 Amperios [68].

Figura 40. Variador OMRON.



4. Transformador

Se utiliza un transformador de 30KVA el cual recibe una tensión de entrada trifásica de 440V a 60Hz y la convierte en una tensión de 220V a 60Hz. Esta tensión es requerida por el tablero de control para el funcionamiento de los diferentes equipos (Ver Fig. 41)

Figura 41. Transformador de 30KVA.



ingreso del retorno del agua proveniente de los procesos (ver Fig. 42). El agua se mezcla dentro del tanque y finalmente el chiller es el que estabiliza la temperatura en el set point.

Figura 42. Tanque pulmón.



5. Tanque pulmón

Este tanque atmosférico de 20 m³ se utiliza para almacenar el agua fría proveniente del chiller, además de permitir el

Tabla 3. Características de las bombas del cuarto chiller.

Proceso	Referencia Bomba	Referencia Motor	Potencia (HP)	Tensión trifásica (VAC)	Caudal (m ³ /h)	RPM	Variador
PCH200	SIHI ZLND 080315	SIEMENS	25	440	113.6	1755	SIEMENS
PCH200 - back up	SIHI ZLND 080315	SIEMENS	25	440	113.6	1755	SIEMENS
PCH100	SIHI HALBERG NOWA 8020	SIEMENS	10	440	100	1750	NO
Cuidados	SIEMENS MONOBLOQUE	SIEMENS	7.5	440	22	3500	NO
Cuidados - back up	SIEMENS MONOBLOQUE	SIEMENS	7.5	440	22	3500	NO
Procesos planta 7	SIHI ZLND 040200	SIEMENS	20	440	35	3500	OMRON
Aromax	WEG W22	WEG	6	440	25	3500	OMRON
Fortident	SIEMENS MONOBLOQUE	SIEMENS	6.6	440	ñ30	3480	OMRON
Fortident - back up	SIEMENS MONOBLOQUE	SIEMENS	6.6	440	30	3480	NO
Aromatel	BARNES QE 1.5 75	SIEMENS	9	440	38	3450	OMRON
Aromatel 2	BARNES QE 1.5 75	SIEMENS	7.5	440	38	3455	NO
Bonice	SIEMENS MONOBLOQUE	SIEMENS	6.6	440	70	3500	NO
Bonice - back up	SIEMENS MONOBLOQUE	SIEMENS	6.6	440	70	3480	NO

Abreviaturas: Caballos de potencia (HP), Voltaje (V), Metros cúbicos (m³), Horas (h), Revoluciones por minuto (RPM).

4. INTERCONEXIÓN DE LOS EQUIPOS.

En las figuras 43 y 44, se puede identificar la distribución de los elementos principales que se encuentran albergados dentro del cuarto del Chiller. Allí se encuentra ubicado el tanque pulmón, el chiller de 100TR y 200TR, y las bombas con sus diferentes conexiones de tuberías. Además, en este cuarto se encuentra una torre de enfriamiento que anteriormente se solía utilizar, sin embargo (por el requerimiento de las plantas) ésta ya no hace parte del sistema de enfriamiento.

Figura 43. Vista superior de distribución de equipos.

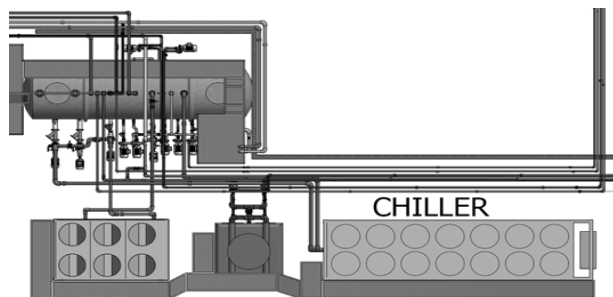
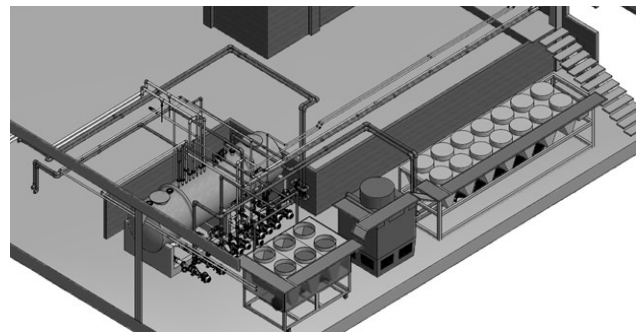


Figura 44. Vista isométrica de distribución de equipos.



Adicionalmente, se desarrolló un plano P&id del cuarto CHILLER en base a la distribución e información levantada de la planta. En este plano, se encuentra la distribución general de los equipos tales como bombas, tanque y chiller, como también los diferentes medidores (Ver Anexo C).

5. HALLAZGOS

A raíz de la pandemia, hubo una gran reducción en la demanda de algunos productos, lo cual dejó ciertos procesos sin funcionar, y esto ocasionó que algunas bombas quedaran sin utilizar. Por otro lado, se evidenció que la puesta en funcionamiento del equipo se realiza de forma manual, siendo el técnico de mantenimiento quien realiza el encendido del equipo a partir de la demanda de la planta.

De la misma manera, todas las bombas de los procesos, se activan de forma manual, y en muchas ocasiones, los procesos no requieren de agua fría, lo cual hace que las bombas sigan funcionando y que el agua se encuentre en constante recirculación sin necesidad, generando pérdidas de energía.

Se evidencia que no existe un control sobre la presión que requieren los procesos, dado que, en su gran mayoría, las bombas trabajan utilizando un arranque directo, y no existe una retroalimentación de la presión de salida que garantice los 80 psi en la operación.

6. CONTEXTUALIZACIÓN PROPUESTA DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO DE BOMBEO.

Los recursos energéticos de una empresa, son el motor que impulsa a la producción. Por esta razón, es de vital importancia administrarlos de forma eficiente, dado que una mala disposición generaría pérdidas, lo cual se representa finalmente en costos monetarios.

Quala, al ser una multinacional con una alta producción de diversas marcas, debe disponer adecuadamente de los recursos energéticos, para así lograr un correcto funcionamiento de los equipos y evitar pérdidas [4].

Ciertos procesos en Quala, tienen máquinas con sistemas de sellado que utilizan mordazas, las cuales requieren de agua fría para funcionar. De igual forma, otros procesos tienen intercambiadores de placas, los cuales necesitan agua fría para lograr disminuir la temperatura al producto y poderlo embazar. No obstante, el estado actual de la operación de la planta nos muestra que, en algunas ocasiones, el recurso de agua chiller se dispone de forma incorrecta, dado que las bombas permanecen encendidas durante el transcurso de la semana, aun cuando no se necesita de agua fría en algunos equipos de los procesos, lo cual hace que se tenga una recirculación innecesaria, y, por ende, una pérdida energética (Ver anexo A).

7. JUSTIFICANTE DEL PROYECTO

A partir del levantamiento de datos descrito en el anexo A, se desglosan una serie de puntos clave para el mejoramiento del cuarto chiller, entre los cuales se encuentran: el gasto energético innecesario por recirculación de agua, y el bajo control de la presión de salida hacia los procesos. Es por esta razón que nace la propuesta de un sistema automatizado que logre suplir ambas necesidades, permitiendo una activación del flujo de agua desde la planta que lo requiera, evitando la recirculación innecesaria del fluido. Este sistema permitiría generar un ahorro energético dado que solo se dispondría del recurso al momento del arranque del proceso, y adicionalmente, entregaría una presión constante a las plantas, utilizando un lazo de control con retroalimentación de presión.

8. ALCANCE

En base a los requerimientos, se plantea la propuesta de un sistema hidroneumático de bombeo de agua, que permita un accionamiento directamente desde la planta, y adicionalmente logre mantener la presión constante hacia los procesos, empleando un lazo de control retroalimentado por medio de un transductor de presión. El control se enfocaría directamente en el punto de operación de los variadores de frecuencia de las bombas, siendo la presión la variable de control.

Este sistema lograría una reducción de la cantidad de bombas que se tienen actualmente, reutilizando únicamente las tuberías de descarga/retorno ya instaladas, las cuales van hacia los procesos.

9. CONCEPTOS GENERALES

➤ Bomba.

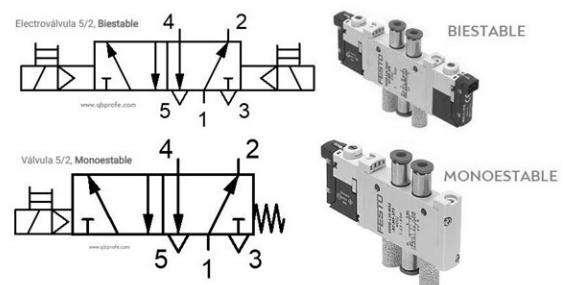
Una bomba es un dispositivo roto-dinámico, capaz de generar el movimiento de un fluido, convirtiendo energía mecánica en hidráulica [69]. Es común encontrar una gran variedad de bombas en el mercado, sin embargo, es usual agruparlas en tres tipos: bombas roto-dinámicas, bombas de desplazamiento positivo rotatorio y bombas de desplazamiento positivo reciprocantes [69].

➤ Electroválvula.

Una electroválvula es un dispositivo que se utiliza para controlar el paso de caudal de un fluido, y en general consta de dos partes principales: la válvula y el solenoide [70].

Según [71], se pueden agrupar las electroválvulas en 2 tipos: monoestables y biestables. Su principal diferencia radica en el estado estable en el que pueden ubicarse, es decir, las monoestables tienen una única posición de retorno cuando no hay presencia del solenoide. Por otro lado, las electroválvulas biestables pueden tener varias posiciones, dado que reposan en el último estado en el cual fueron accionadas por el solenoide, y no retornan a alguna posición en específico (Ver Fig. 45).

Figura 45. *Electroválvula monoestable y biestable.* Tomado de [72].



En la figura 45, podemos observar dos electroválvulas, cada una de 5 vías y dos posiciones, sin embargo, su principal diferencia radica en el accionamiento con el que cuentan, ya que la monoestable únicamente tiene 1 solenoide, y es retornada por muelle (resorte), por otro lado, la biestable cuenta con 2 solenoides, y no retorna a una posición determinada, dado que

depende del estado anterior de accionamiento. Cabe resaltar que estas electroválvulas son de tipo neumático.

Es importante resaltar que, las electroválvulas para fluidos hidráulicos, presentan cierta similitud en cuanto a su descripción, no obstante, aumenta la robustez y el tamaño debido a las altas presiones que se pueden llegar a generar.

Figura 46. *Válvula solenoide servo accionada 2/2.* Tomado de [73].



En la figura 2, se puede observar una electroválvula de 2 vías y 2 posiciones. En este caso, es una electroválvula de tipo ON-OFF, dado que sus únicas posibles posiciones son abierta o cerrada. Adicionalmente, este tipo de electroválvulas se encuentran diseñadas para controlar fluidos tales como agua, aceite, aire comprimido, entre otros [73].

➤ *Variador de frecuencia*

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite modular a un valor deseado la frecuencia, como también la tensión en un circuito eléctrico. Este tipo de dispositivos (también conocido como variador de velocidad) se suelen disponer para controlar la velocidad de un motor, y, por ende, la potencia que le es entregada, permitiendo ajustarse a la demanda requerida, evitando pérdidas energéticas por consumo excesivo [74].

Figura 47. *Variador de frecuencia OMRON.* Tomado de [75].

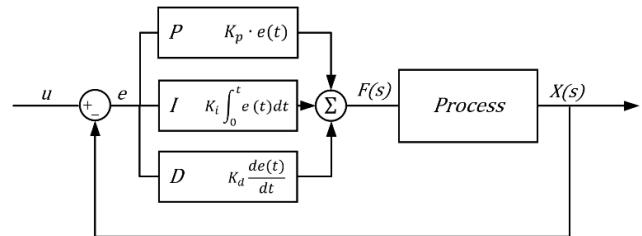


En la figura 47 se observa un variador de velocidad de la marca OMRON, el cual es un equipo que permite configurar la frecuencia deseada de trabajo de los dispositivos conectados a este. Es importante resaltar que muchos de los variadores de frecuencia encontrados en el mercado permiten conectarse a dispositivos de control, mediante comunicaciones industriales, lo cual hace posible aplicar acciones de control de una manera automatizada.

➤ *Control PID.*

El control PID (proporcional – integral – derivativo), es una estrategia de control la cual permite controlar sistemas dinámicos en lazo cerrado, logrando alcanzar un estado estable de salida, a partir de una señal de referencia. Es decir, esta técnica toma acciones de control a partir de la variación de las ganancias proporcional, integral y derivativa, haciendo que el sistema pueda estabilizarse en un valor deseado [76].

Figura 48. *Lazo de control PID.* Tomado de [76].



En la figura 48 se observa un lazo de control retroalimentado, el cual tiene un controlador PID. Este tipo de sistema utiliza la señal de error (generada por la diferencia entre la referencia y la retroalimentación), y realiza operaciones de integración y derivación, para posteriormente multiplicar estos valores por las ganancias del PID (K_p , K_i , K_d) [77]. Finalmente se hace una sumatoria de estos operandos, para así aplicar estos valores al proceso, generando una acción de control que busca tener un sistema estable.

➤ *Sistema hidroneumático.*

Un sistema hidroneumático es un equipo utilizado para mantener la presión constante de un fluido dentro de una tubería [78]. Existen múltiples tipos de sistemas hidroneumáticos, sin embargo, su principio de funcionamiento consta principalmente en un equipo de bombeo, el cual se encarga de suministrar el caudal dentro de la tubería, para posteriormente, por medio de un tanque de presurizado (generalmente precargado de aire comprimido), generar un aumento de la presión en la red. Finalmente, este tipo de sistemas funcionan por medio de equipos de control, que trabajan en conjunto para lograr sostener una presión constante, operando el encendido y apagado de las bombas [78].

Figura 49. *Ejemplo de sistema hidroneumático.* Tomado de [79].



En la figura 49 se muestra un ejemplo de un equipo de bombeo hidroneumático. Este tipo de equipos por lo general se entregan preensamblados, y permiten adecuar las tuberías de una manera más fácil. Adicionalmente, se puede observar que el tanque precargado se encuentra conectado a la flauta de descarga, como también las bombas de presión. En dicha flauta se regula la presión de bombeo, y esta agua a presión es la que finalmente se envía hacia el proceso [79].

Un elemento crucial para lograr la operación de estos equipos es el sistema de control, ya que su principal tarea es la de regular el encendido y apagado de las bombas, en función de la presión detectada en la flauta de salida, para así mantenerla constante a partir de la caída de presión detectada en el circuito [79].

10. DIMENSIONADO DE EQUIPOS

➤ Sistema de bombeo.

Para el dimensionado de los equipos, se parte del requerimiento que presenta la planta. En base al anexo F (Análisis de consumo de agua chiller), se toma una muestra de datos del consumo de agua que tiene cada proceso, desde el 04 de enero hasta el 10 de mayo, para un total de 126 días. A partir de este análisis de caudal, se determinan un consumo mínimo y máximo de operación:

$$Q_{min} = 1 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{max} = 40 \frac{m^3}{h}$$

Estos valores de caudal de operación se calculan partir de los datos de consumo diario registrados por los técnicos en la bitácora. Adicionalmente, de la información recolectada en anexo A se determina una presión requerida por proceso de 80 psi. Teniendo estos valores de funcionamiento, se propone un sistema hidroneumático con una filosofía de operación que sea capaz de sostener una presión constante, además de permitir adaptarse a las condiciones de caudal requeridas en cualquier momento.

En base a los estándares comerciales de este tipo de sistemas, existen una gran variedad de combinaciones posibles para poder conseguir un régimen de operación estable, es por esto que la selección del equipo hidroneumático se apoya en la recomendación del fabricante Ignacio Gómez, el cual es especialista en este tipo de sistemas [80].

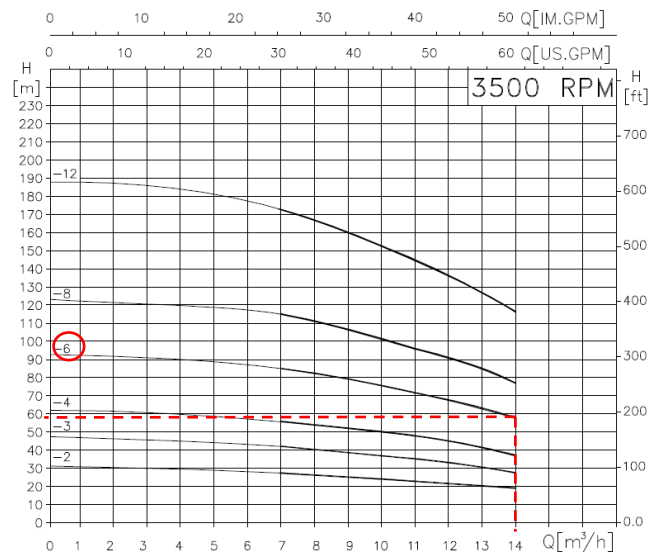
Figura 50. Sistema KPRESS-FLO. Tomado de [80].



Se propone seleccionar el sistema preensamblado KPRESS-FLO del fabricante Ignacio Gómez en una configuración con 3 bombas principales que son capaces de suplir el caudal y la presión de operación requeridas, además de una bomba adicional con las mismas características, la cual funciona como un back-up ante cualquier eventualidad (Ver Fig. 50).

Las bombas con las que cuenta este sistema son de tipo multietapa, y su selección se realiza mediante las curvas características entregadas por el fabricante (Ver Fig. 51).

Figura 51. Curva característica de las bombas multietapa serie VMSS8 marca Ignacio Gómez. Tomado de [80].



En la figura 6 se presenta una tabla con el compendio de curvas características para las bombas multietapa de la referencia VMSS8. Esta curva relaciona la presión de operación a partir del caudal de suministro establecido, para un total de 6 bombas.

$$P_{req} = 80 \text{ psi.}$$

$$1 \text{ psi} \rightarrow 0.704 \text{ mca.}$$

$$P_{req} = 56.25 \text{ mca.}$$

Para calcular la potencia de las bombas, se plantea la ecuación descrita en [81]:

$$P_b(\text{hp}) = \frac{Q_s * \rho * g * h_b}{746 * e}$$

Donde “ Q_s ” es el caudal de operación, “ ρ ” representa la densidad del fluido a la temperatura de trabajo, “ h_b ” representa la cabeza de la bomba en metros (presión) y finalmente “ e ” figura como la eficiencia de la bomba. Se trabaja en condiciones máximas de operación, es decir, para una presión de trabajo de 56.25 mca y un flujo total de 40 m³/día. Como se había descrito anteriormente, se definen 3 bombas de suministro, las cuales cumplen con el régimen de caudal y presión total, por tanto:

➤ $\rho = 999,96 \frac{Kg}{m^3}$

- $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$
- $h_b = 56,25 \text{ mca}$

$$Q_s = \frac{40 \frac{m^3}{h}}{3} \cong 13,4 \frac{m^3}{h} \rightarrow 0,0037 \frac{m^3}{s}$$

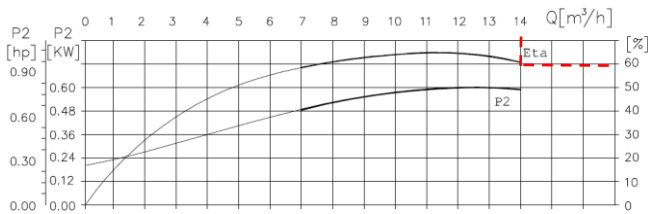
∴

$$P_b(Hp) = \frac{0,0037 \frac{m^3}{s} * 999,96 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 56,25 \text{ mca}}{746 * 60\%}$$

$$P_b(Hp) = 4,55 \text{ hp} \rightarrow 5 \text{ hp}$$

La eficiencia se determina como un valor teórico estimado del 60% (Ver Fig. 52). Adicionalmente, a partir de esta aproximación, se escoge un valor comercial para la bomba de 5hp.

Figura 52. Curva característica de eficiencia para bombas multietapa VMSS8. Suministrado por el fabricante Ignacio Gómez.



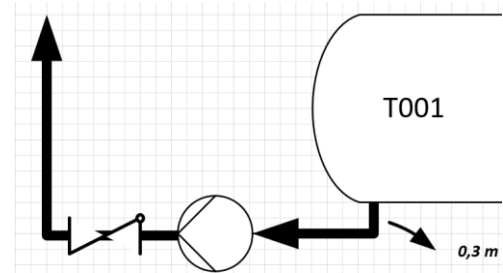
Por medio de la curva característica presentada en la figura 6, se selecciona una bomba de referencia VMSS8-60 (Curva 6), dado que es la que cuenta con el valor de potencia de 5 hp y permite trabajar por encima del régimen de presión requerido, aun cuando se tiene el mayor caudal de suministro. Adicionalmente, para cumplir con las características de caudal, se hace necesario disponer de 3 bombas en total, dado que el máximo valor de caudal por bomba es de 14 m³/h, sin embargo, las condiciones límite de operación suelen ser poco comunes (Ver anexo F).

Un factor importante de diseño al momento de seleccionar una bomba el NPSH (Altura neta positiva de succión). Este parámetro nos permite conocer la presión mínima que debe existir a la succión de la bomba, con el fin de evitar la cavitación, que finalmente es un fenómeno termodinámico que se produce al reducir la presión absoluta por debajo del nivel de la presión vapor del líquido [82]. Para lograr el correcto funcionamiento de una bomba, evitando cavitación y en una franja segura, se debe cumplir la siguiente relación [83]:

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0,5.$$

Dependiendo del tipo de instalación que se tenga, el cálculo del valor del NPSH_{disp} va a variar, dado que puede ser en carga o en aspiración [83]; para el caso del montaje en el cuarto Chiller, el tipo de instalación que se tiene es en carga, ya que líquido se sitúa por encima del eje de la bomba (Ver fig. 53).

Figura 53. Diagrama esquemático de la conexión de la bomba al tanque pulmón.



Para este tipo de instalaciones, la altura de aspiración es positiva, dado que la bomba no debe vencer presión para poder trabajar, y el factor NPSH_{disp} se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_a}{\gamma} + H_a - H_f - \frac{T_v}{\gamma}$$

Siendo P_a el valor de la presión atmosférica en el tanque pulmón, H_a la altura de aspiración, la cual es medida desde el eje hasta la altura del líquido. H_f representa las pérdidas en el tramo de succión, γ es el valor del peso específico del fluido, que en este caso es agua, y T_v es el valor de la tensión vapor del líquido a la temperatura del tanque [83]. Para el caso de aplicación, se descartan las pérdidas por fricción en el tramo de aspiración, dado que es relativamente corto y no existen accesorios intermedios; los datos de cálculo se determinan para las condiciones de presión en la ciudad de Bogotá, a 2620 msnm, y una temperatura del fluido de aproximadamente 7°C.

Tabla 4. Tabla de datos para condiciones de diseño.

Variables en condiciones ideales	
P_a	560 mmHg
H_a	0,3 m
H_f	0 m
T_v	7,9 mmHg
γ	1000 kg/m ³

Utilizando los datos de la tabla IV, y adicionalmente realizando un ajuste de unidades, se calcula el valor del NPSH_{disp} para el montaje:

$$NPSH_{disp} = \frac{(560 \text{ mmHg}) * \frac{133,3 \text{ Pa}}{1 \text{ mmHg}}}{\left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right) * 9,81} + 0,3 \text{ m} - 0$$

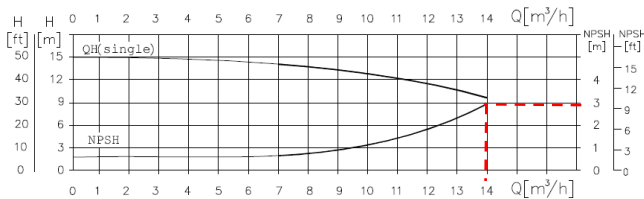
$$= \frac{(7,9 \text{ mmHg}) * \frac{133,3 \text{ Pa}}{1 \text{ mmHg}}}{\left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right) * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 7,8 \text{ m}$$

$$NPSH_{disp} = 7,8 \text{ m} - 0,5.$$

$$NPSH_{req} \leq 7,2 \text{ m}$$

Es decir que, para cualquier bomba seleccionada, el valor del NPSHreq debe ser menor o igual a 7,2 m. Finalmente, se analiza la tabla característica de la bomba (Fig. 54) y se determina que, para el valor máximo de caudal admitido (14 m³/h), se tiene un valor de NPSHreq máximo de 3 m, es decir que la bomba puede trabajar de manera segura dentro del rango permitido

Figura 54. Valor de NPSHreq para bomba modelo VMSS8-60. Suministrado por fabricante Ignacio Gómez.



➤ *Tanque precargado.*

Para la selección del tanque se parte del estándar de presión requerido, dado que este tipo de sistemas mantienen encendidas las bombas y no es necesario mantener ciclos de carga y descarga del tanque. Es decir, la función principal del tanque para el sistema KPRESS-FLO es la de compensar las caídas de presión abruptas, permitiendo que las bombas adapten su caudal mientras el tanque compensa la demanda momentáneamente y evitando posibles golpes de ariete [84].

Se selecciona un tanque precargado de referencia LA200 de la marca Ignacio Gómez, con capacidad de 200 litros y una presión de operación de 150 PSI (Ver fig. 55).

Figura 55. Tanque hidroneumático LA-200. Tomado de [84].



Cabe resaltar que este tanque es un equipo que se instala de manera vertical, esto con el fin de hacer el sistema más compacto y de esta manera ahorrar espacio dentro del cuarto Chiller.

➤ *Electroválvulas.*

Para que el sistema hidroneumático pueda ser accionado desde la planta, es necesario disponer de una electroválvula que permita el paso del fluido a partir del requerimiento de agua fría. Cabe resaltar que este trabajo actualmente se realiza de forma manual, donde el técnico de mantenimiento es quien activa las bombas (No existen válvulas de paso). La selección del tipo de válvulas se realiza en base al informe de levantamiento de datos (Anexo A), en el cual se evidencia que es necesario utilizar en

total 4 electroválvulas 2/2 NA monoestables, dado que finalmente son 4 procesos. Al accionarse la electroválvula el sistema va a presentar una caída de presión, y en función a esta disminución, el hidroneumático va a accionar las bombas para suplir la demanda y garantizar una presión constante. En este punto, el tanque se encarga de evitar abatimientos abruptos de la presión en los instantes previos al encendido del sistema de bombeo, suministrando el caudal adicional [85].

Figura 56. Válvula mariposa con actuador Rack and Pinion. Suministrado por proveedor Casaval [86].



A partir de la recomendación realizada por el proveedor Casaval [86], en conjunto con el estudio del proceso, se propone utilizar un sistema compuesto por válvula, actuador y solenoide (Ver Fig. 56). Este conjunto se acciona mediante un actuador neumático, el cual puede trabajar en un rango entre 40 – 120 psi y finalmente es el que permite el movimiento de la válvula.

➤ *Switch.*

En cada una de las 4 plantas se va a contar con un switch que permita el accionamiento de las electroválvulas, el cual será de tipo selector de dos posiciones (ON/OFF). Esta configuración simple, permite que el PLC sea capaz de leer el estado del requerimiento de la planta, y así controlar la salida de la electroválvula.

Figura 57. Interruptor Selector de 2 posiciones. Tomado de [87].



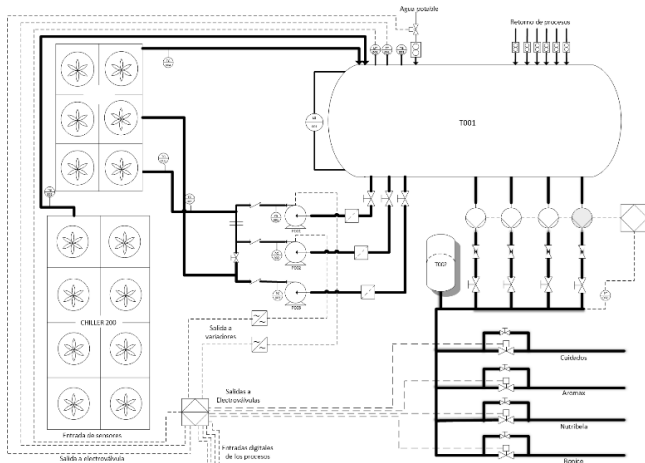
Se propone utilizar un interruptor selector de 2 posiciones de la marca Schneider, el cual es un Switch NA. Este elemento se encuentra registrado como un repuesto para la empresa, y tiene el código MR000054 (Ver Fig. 57).

11. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

Para facilitar la visualización del sistema hidroneumático propuesto, se realiza un esquema P&id simplificado del área

chiller (Ver Fig. 58). En este diagrama se especifican los principales componentes que constituyen al sistema, es decir, los chiller's, las bombas, los tanques, los múltiples medidores/actuadores y también los dispositivos de control.

Figura 58. Diagrama P&id simplificado de sistema hidroneumático.



12. FILOSOFÍA DE CONTROL

Cuando se hace referencia a la filosofía de control, hablamos de la manera en la cual van a operar los equipos en conjunto, para poder alcanzar el requerimiento preestablecido. En los

sistemas hidroneumáticos, debemos tener presente la capacidad de bombeo con la que se cuenta, como también del tipo de equipos con los que se dispone, para así entender la dinámica del sistema, y finalmente controlar su funcionamiento.

Como se vio reflejado en el capítulo V, a partir del requerimiento de presión y caudal, se seleccionan 3 bombas principales, las cuales van a operar de manera secuencial, a raíz de la demanda de agua que se tenga; es importante resaltar que: finalmente se busca mantener una presión constante sobre todo el sistema, es decir, la presión va a ser la variable de control con la cual se van a tomar las acciones necesarias para lograr mantenerla en un punto estable. El hidroneumático basa su funcionamiento en el método escalonado maestro/esclavo, dado que cada una de los motores cuenta con un variador de frecuencia, en conjunto con una tarjeta de control, la cual funciona como un esclavo, y recibe la orden de encendido a partir de la señal del maestro [88].

13. COSTOS

Para el análisis de costos del proyecto, se realiza la tabla X la cual contiene un compendio de todos los requerimientos para la ejecución del proyecto. En esta tabla se describen los elementos principales que componen al sistema hidroneumático, y adicionalmente se contemplan los requerimientos adicionales para lograr su funcionamiento, tales como tuberías, la implementación de un anillo de aire comprimido para las válvulas, los accesorios generales requeridos y finalmente la mano de obra, la cual se estima en aproximadamente \$8.000/h.

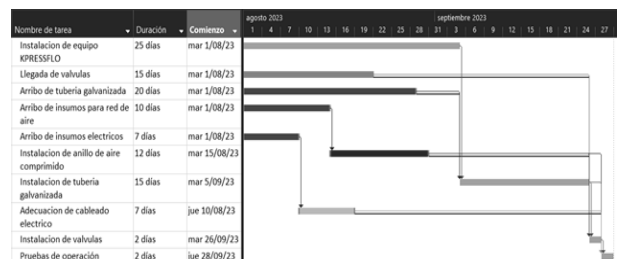
Tabla 4. Costos estimados para la implementación del proyecto.

Equipo	Referencia	Marca	MR	Cantidad	Precio (COP)
Sistema Hidroneumático	KPRESS-FLOVMSS8-60	Ignacio Gómez	NA	1	\$ 69.959.000,00
Conjunto Válvula de bola 2" + actuador Rack & Pinion + Válvula solenoide + Sensor Posición	EconoChem + Serie 21-85 + NEMA + Serie 83	Flo-TITE + DelVal + NEMA + DelVal	NA	3	\$ 8.669.042
Conjunto Válvula Mariposa 3" + actuador Rack & Pinion + Válvula solenoide + Sensor Posición	Serie 44 + Serie 21-85 + NEMA + Serie 83	DelVal + DelVal + NEMA + DelVal	NA	1	\$ 3.609.299
Tubería Galvanizada de 3"	NA	NA	NA	5 m	\$ 700.000
Tubería Galvanizada de 2"	NA	NA	NA	15 m	\$ 600.000
Tubería Galvanizada de 4"	NA	NA	NA	2 m	\$ 360.000
Accesorios Galvanizados	NA	NA	NA	20u	\$ 3.000.000
Tubería en polipropileno 1 1/2 "	PN16	DICOL	NA	175 m	\$ 7.500.000
Accesorios Polipropileno	NA	DICOL	NA	25u	\$ 800.000
Cable encauchetado	2X16 AWG	CENTElsa	NA	700 m	\$ 2.800.000
Interruptor selector 2 posiciones	XB4BD21	SCHNEIDER	MR000054	4u	\$ 200.000
Elementos consumibles	NA	NA	NA	-	\$ 200.000
Mano de obra para instalaciones y pruebas de operación	NA	NA	NA	920h	\$ 7.360.000
Total					\$ 105.757.341

14. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

El cronograma mostrado en el diagrama de Gantt (Fig. 59) se sustenta en los tiempos estimados que han sido suministrados por los múltiples proveedores. Adicionalmente, se tienen en cuenta los tiempos medios de llegada de los recursos necesarios para poder hacer los respectivos montajes. Los tiempos de mano de obra en cuanto a instalaciones y pruebas de operación, fueron determinados en base a la información entregada por parte de contratistas enfocados en este tipo de trabajos (Ver Fig. 59).

Figura 59. Diagrama de Gantt de la ejecución del proyecto.



15. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El justificante principal del proyecto, es el tiempo en el cual se estima que se retorne la inversión inicial. Como ya se evidenció en capítulos anteriores, la empresa depende directamente de la producción que se requiera en las marcas, y, por consiguiente, el consumo de recursos va a ser un factor variable, sin embargo, se plantea un análisis energético en base al consumo que se tiene actualmente en las bombas.

Para este análisis, se fijan condiciones de operación límite, con las bombas funcionando a plena carga, obteniendo como resultado:

Tabla 6. Consumo de potencia por bomba.

Bomba	Consumo (kWh)
Cuidados	5,6
Procesos Planta 7	15
Aromax	4,5
Bonice	4,9
Total	30

El régimen de operación se determina en 6 días de trabajo continuo (ver anexo A), para un total de 24 días de operación al mes. Es importante resaltar que todas las bombas cuentan con variador (excepto Bonice), no obstante, no tienen un sistema de control que permita regular la presión, por ende, la función del variador actualmente es la de un arrancador suave. Finalmente, se hace la estimación del consumo límite (con los valores de la tabla VI), en base a la siguiente ecuación:

$$P_{mes} = P_{bombas} * T_{horas-mes}$$

$$P_{mes} = 30 kW * 576h.$$

$$P_{mes} = 17280 kWh.$$

Posterior a ello, se determina el consumo del sistema propuesto, teniendo en cuenta la cantidad de bombas, y las características de potencia del motor (3 bombas de 5 hp). Cabe resaltar que el equipo hidroneumático posee variadores de frecuencia, y adicionalmente, dispone de un sistema de control PID capaz de adaptarse a las condiciones de presión.

Para el cálculo de la potencia consumida por el sistema en el mes, se define un régimen de operación con las características anteriormente descritas, obteniendo así:

$$P_{mes} = P_{bombas} * \#bombas * T_{horas-mes}$$

$$P_{mes} = 5 hp * \frac{0,7457 Kw}{1 hp} * 3 * 576h.$$

$$P_{mes} = 6443 kWh.$$

Realizando un balance energético entre el consumo actual y el consumo estimado en condiciones límite de operación, se obtiene un total de 10837 kWh de diferencia. En este punto se determina una tarifa promedio por kilovatio hora (\$/kWh), en

base a la tendencia de consumo que tiene la empresa, obteniendo así un valor de \$540/kWh.

$$Beneficio = 10837 kWh * 540 \$/kWh$$

$$Beneficio = \$5'851.980$$

Finalmente, se determina el periodo de recuperación (PRD) del proyecto, y esto se hace en base al beneficio del ahorro energético que se puede alcanzar en el tiempo.

Tabla 7. Cálculo del periodo de recuperación de la inversión.

Periodo de recuperación (PRI)			
Año	flujo	Acumulado	Concepto
0	-\$ 105.757.341,00		Inversión Inicial
1	\$ 70.223.760,00	\$ 70.223.760,00	Ahorro energético
2	\$ 70.223.760,00	\$ 140.447.520,00	Ahorro energético
3	\$ 70.223.760,00	\$ 210.671.280,00	Ahorro energético
4	\$ 70.223.760,00	\$ 280.895.040,00	Ahorro energético
PRI		1,51	AÑOS

Se determina un tiempo de aproximadamente 1 año y 6 meses para que se retorne la inversión. Cabe aclarar que estos valores se calculan de forma meramente teórica, simulando un entorno de trabajo límite, a condiciones de plena carga, con todos los equipos funcionando en el tiempo estipulado. Adicionalmente, no se tiene en cuenta la variación del IPP (Índice de Precios del Productor), ni tampoco que el equipo hidroneumático trabaja con un sistema de control de presión, usando variadores de frecuencia, lo cual reduce el consumo de potencia en mayor medida.

16. CONCLUSIONES DE LA PROPUESTA.

Haciendo una recopilación de información en campo, fue posible determinar puntos clave de mejora en el sistema de bombeo de agua “Chiller”. Esto permitió que la realización de la propuesta fuera sustentada con los criterios de operación actual.

Se propone la implementación de un sistema hidroneumático de presión constante, el cual puede ser accionado desde planta, y es capaz de adaptarse a las variaciones de presión, generando un control sobre la presión de salida, y logrando un ahorro energético en contraste con la operación actual.

Se determina un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de aproximadamente 1 año y 6 meses, para condiciones de operación límite, sin embargo, se estima un valor de ahorro energético más elevado por concepto de la implementación de variadores de frecuencia, los cuales son gobernados por controladores PID, haciendo que las bombas se adapten directamente a la demanda de la planta, generando un consumo de potencia menor al actual.

REFERENCIAS

- [1] Seguas, «El mantenimiento industrial, una tarea vital para tu empresa». Accedido: 1 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/>
- [2] nexusintegra, «La importancia del mantenimiento industrial en las fábricas inteligentes». Accedido: 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://nexusintegra.io/es/la-importancia-del-mantenimiento-industrial-en-las-fabricas-inteligentes/>
- [3] CORPONET, «Automatización de procesos: Importancia y beneficios en las empresas». Accedido: 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.corponet.com/automatizacion-de-procesos-importancia-y-beneficios-en-las-empresas>
- [4] Quala, «Quala Colombia La multinacional de consumo masivo con presencia en 8 países de Centro y Sur América.» Accedido: 10 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.quala.com.co/>
- [5] aula21, «¿Cuáles son los diferentes tipos de mantenimiento industrial?» Accedido: 1 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/tipos-de-mantenimiento-industrial/>
- [6] Infor, «ERP Cloud Software | Productos ERP de IA en la nube para la empresa | Infor». Accedido: 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.infor.com/es-la>
- [7] Infor, «Software de distribución | ERP para distribuidores mayoristas | Infor». Accedido: 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.infor.com/es-la>
- [8] D. H. Mesa Grajales, Y. Ortiz Sánchez, M. PINZÓN Ingeniero Metalúrgico, y en Economía Ambiental Urosario Profesor Auxiliar, «La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento», *Scientia et Technica*, vol. 1, n.º 30, ene. 2006, doi: 10.22517/23447214.6513.
- [9] Altermecnia, «La importancia de la eficiencia energética en las empresas - ALTERMECNIA». Accedido: 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://altertecnia.com/la-importancia-de-la-eficiencia-energetica-en-las-empresas/>
- [10] Concrelab, «Por que es importante la calibracion de equipos de medicion». Accedido: 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.concrelab.com/calibrar-medicion/>
- [11] AutoSolar, «Medidor Bidireccional ELSTER A1800 | al Mejor Precio». Accedido: 8 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.co/accesorios/medidor-bidireccional-elster-a1800>
- [12] INELDEC, «Medidor trifásico semidirecta e indirecta ELSTER A1800 - Paneles Solares Colombia Lamparas Solares Ingeniería Eléctrica Energía Solar Baterías Solares Cucuta Materiales». Accedido: 8 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ineldec.com/producto/medidor-semidirecta-indirecta/>
- [13] Schneider Electric, «Serie PM5500 / PM5600 / PM5700 de PowerLogic™ - Manual del usuario Guía de usuario | Descargas Schneider Electric». Accedido: 8 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/co/es/download/document/HRB1684303/>
- [14] Schneider Electric, «PowerLogic® Series 800 Power Meter Central de medida de la serie 800 Centrale de mesure de la série 800 PM820, PM850, PM870 Installation manual Manual de instalacion Manuel d'installation», 2006.
- [15] Cobosa, «¿Qué productos componen un sistema hidroneumático?» Accedido: 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cobosa.com.mx/que-productos-componen-un-sistema-hidroneumatico/>
- [16] EQUYSIS, «Medidor Electromagnético - Siemens: Sitrans MAG 6000». Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://equysis.com/Producto/sitrans-f-m-mag-6000_101
- [17] Gavasa, «Siemens - Sensor SITRANS FM MAG 1100 F - Gavasa - Equipos de medida y control». Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gavasa.com/producto/siemens-sensor-sitrans-fm-mag-1100-f/>
- [18] GSL Industrias, «Flujómetro». Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://industriagsl.com/blogs/automatizacion/flujometro>
- [19] Jiangbel, «China 2 pulgadas medidor de agua fabricantes, proveedores, fábrica | Medidor de agua». Accedido: 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.nbwatmeter.net/water-meter/multi-jet-water-meter/2-inch-water-meter.html>
- [20] Sure, «Oem Air Flow Meter Manufacturer, Steam Vortex Flow Meter». Accedido: 11 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.suremeter.com/lugb-vortex-flow-meter>
- [21] SIEMENS, «6ES7313-6CF03-0AB0 - SIEMENS». Accedido: 27 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES73136CF030AB0>
- [22] SIEMENS, «Detalles del producto - Global eBusiness - Siemens WW». Accedido: 27 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV6647-0AC11-3AX0>
- [23] SIEMENS, «6ES7321-1BL00-0AA0 SIEMENS». Accedido: 27 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7321-1BL00-0AA0>
- [24] SIEMENS, «6ES7153-2BA82-0XB0 SIEMENS». Accedido: 27 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7153-2BA82-0XB0>

- <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7153-2BA82-0XB0>
- [25] SIEMENS, «6ES7157-0AC83-0XA0 SIEMENS». Accedido: 27 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES71570AC830XA0>
- [26] INT TECHNICS, «6AV6647-0AC11-3AX0 SIEMENS INT TECHNICS Industrial Automation Partner». Accedido: 27 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://plc-trade.com/mpn/6av6647-0ac11-3ax0/>
- [27] S. L. Cavallé, «ESTUDIO DE MEJORA ENERGÉTICA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL».
- [28] TeamViewer, «¿Qué es el monitoreo remoto de sistemas?» Accedido: 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.teamviewer.com/es-mx/info/que-es-el-monitoreo-remoto-de-sistemas/>
- [29] E. Pérez-López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial SCADA systems in the industrial automation».
- [30] M. H. Gabriel Tolosa y M. K. Powell, «Protocolos y Modelo OSI».
- [31] M. William, «Modelo OSI».
- [32] aula21, «Modbus: Qué es y cómo funciona | Comunicaciones Industriales». Accedido: 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>
- [33] GENSET COMPONENTS, «Cable RS485 BELDEN 1 Par (1 metro) Color: Gris - Repuestos para grupos electrógenos». Accedido: 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gensetcomponents.com/es/Cable-RS485-BELDEN-1-Par-1-metro-Color-Gris-1>
- [34] E. Flores, J. C. Quezada, A. E. Solis, H. Calderon, y E. Mendoza, «Implementación de protocolo MODBUS RTU en la comunicación de un PAC y un variador de velocidad para el control automático de motores eléctricos». Accedido: 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tizayuca/n5/p7.html>
- [35] A. Swales y S. Electric, «OPEN MODBUS/TCP SPECIFICATION».
- [36] Automation Networks, «Modbus TCP/IP». Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://automation-networks.es/glossary/modbus-tcpip>
- [37] EYEMUC, «> Protocolo Modbus | Para Principiantes». Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eyemuc.co/31-protocolo-modbus/>
- [38] ENUC, «Cable Ethernet CAT6 RJ45 24AWG 75m + 15 Bridas Max Connection > Informatica > Cables y Conectores > Cables de red». Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.e-nuc.com/cable-ethernet-cat6-rj45-24awg-75m-15-bridas-max-connection-p-17839.html>
- [39] flaticon, «Símbolo wifi - Iconos gratis de formas». Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.flaticon.es/icono-gratis/simbolo-wifi_72234
- [40] Phoenix Contact, «FL SWITCH SFNB 5TX - Industrial Ethernet Switch - 2891001». Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.phoenixcontact.com/es-co/productos/industrial-ethernet-switch-fl-switch-sfnb-5tx-2891001>
- [41] Schneider Electric, «EcoStruxure™ Power Monitoring Expert - PME | Schneider Electric Centroamérica». Accedido: 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/cr/es/product-range/62919-ecostruxure-power-monitoring-expert/#overview>
- [42] Schneider Electric, «Power Monitoring Expert». Accedido: 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.pmedemo.biz/web/#Dashboards/lib/e72f5db6-4921-4efb-8b6d-ab394a116349>
- [43] Schneider Electric, «Power Monitoring Expert». Accedido: 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: www.schneider-electric.com.mx
- [44] Intesis, «Pasarelas Modbus». Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.intesis.com/es/productos/protocol-translators/pasarelas-modbus>
- [45] SIEMENS, « SIEMENS 6ES7313-6CF03-0AB0 ». Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES73136CF030AB0>
- [46] SIEMENS, « 6ES7341-1CH02-0AE0 CP 341». Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7341-1CH02-0AE0>
- [47] SIEMENS, «Módulos de acoplamiento punto a punto », Accedido: 3 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: http://simatic-market.ru/catalog-resources/pdf/ENG_97801.PDF
- [48] MOXA, «MGate MB3170/MB3270 Series - Modbus TCP Gateways». Accedido: 3 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/protocol-gateways/modbus-tcp-gateways/mgate-mb3170-mb3270-series#models>
- [49] Schneider Electric, «PSWSANCZZSPEZZ - PME-STD PME8 BASE». Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/mx/es/product/PSWSANCZZSPEZZ/pmestd-pme8-base/>
- [50] SIEMENS, «Siemens SIMATIC S7-300 CP 341 Communications Processor». Accedido: 2 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.quicktimeonline.com/6es7341-1ch02-0ae0>
- [51] J. Luis, H. Álvarez, J. Mauricio, B. Lopera, J. Felipe, y H. Jaramillo, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO», 2015.

- [52] Didactalia, «Tonelada de refrigeración». Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://didactalia.net/comunidad/materialeducativo/recursos/tonelada-de-refrigeracion/e9776535-efb2-4ef4-a4a8-012ae502a638>
- [53] Systemair, «¿Qué son las enfriadoras y qué tipos existen?» Accedido: 9 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.systemair.com/es/noticias/blog/blog-detailview/news/que-son-las-enfriadoras-y-que-tipos-existen/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=aa885c2b49bd65268a2f25917ee6cbd3
- [54] J. Controls, «FORM 201.28-EG1.EN.PED/CE (0311) Plantas Enfriadoras de Líquido Refrigeradas por Aire con Plantas Enfriadoras de Líquido Refrigeradas por Aire con Compresores de Doble Tornillo y Variador de Velocidad Modelo YVAA». Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/155512037/EG-ES-YVAA#>
- [55] C. Johnson, «MODEL YLAA AIR-COOLED SCROLL CHILLERS WITH BRAZED PLATE HEAT EXCHANGERS STYLE B». Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: http://clipartes.com.mx/wp-content/uploads/2020/06/YLAA-product-data-CP_compressed.pdf
- [56] Comercial de Riegos, «Bomba Eje Libre | Riego Presión». Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://comercialderiegos.com/product/bomba-eje-libre-riego-presion/>
- [57] DANFOSS, «032K143690 DANFOSS CONTROLES INDUSTRIALES Solenoid coil El..» Accedido: 19 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/danfoss-industrial-automation/bobina-para-valvula-solenoid-br220b-danfoss-032k143690>
- [58] INT TECHNICS, «7ML1201-1EF00 SIEMENS INT TECHNICS Industrial Automation Partner (ES)». Accedido: 19 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://plc-trade.com/es/mpn/7ml1201-1ef00/>
- [59] WIKAI, «Termómetro bimetálico Para aplicaciones industriales Modelos A52, R52».
- [60] SIEMENS, «SIMATIC NET CPs S7 para Industrial Ethernet Manual del equipo Parte B8 CP 343-1 Lean», Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www4.ad.siemens.de/view/cs/de/8777865>
- [61] SIEMENS, «Módulo de entradas digitales SM 321». Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7321-1BH02-0AA0>
- [62] SIEMENS, «Módulo de salidas digitales SM 322». Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7322-1BH01-0AA0>
- [63] SIEMENS, «6ES7331-1KF01-0AB0 SIEMENS». <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/6ES7331-1KF01-0AB0> (accedido 21 de abril de 2023).
- [64] «Módulo de salidas analógicas SM 332». Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7332-5HD01-0AB0>
- [65] SIEMENS, «Fuente de tensión estabilizada SIEMENS 6EP1333-3BA00». Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.farnell.com/datasheets/1699750.pdf>
- [66] SIEMENS, «6AV6642-0BA01-1AX1 SIEMENS». Accedido: 22 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/Product/6AV6642-0BA01-1AX1>
- [67] SIEMENS, «6SL3210-1KE23-8UP1 SIEMENS». Accedido: 22 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6SL3210-1KE23-8UP1>
- [68] OMRON, «3G3MX2-V1 Multi-function Compact Inverter/Specifications | OMRON Industrial Automation». Accedido: 22 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ia.omron.com/products/family/3164/specification.html>
- [69] S. Escutia Melitón, «Bombas centrífugas horizontales para proceso, teoría y normalización», mar. 2023, Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/31377>
- [70] O. G. Chicaiza Ortega, «Construcción de un sistema de serigrafía para el estampado de sellos utilizando electroválvulas.», 2019, Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/79>
- [71] «BLOQUE IV. CIRCUITOS NEUMÁTICOS Y OLEOHIDRÁULICOS». Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://docplayer.es/39288831-Bloque-iv-circuitos-neumaticos-y-oleohidraulicos.html>
- [72] QBPROFE Academy, «Diferencia entre Válvulas Biestables y Válvulas Monoestables». Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/diferencia-entre-valvulas-biestables-y-valvulas-monoestables/>
- [73] Danfoss, «Válvulas solenoides EV220B | Válvulas servoaccionadas». Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.danfoss.com/es-es/products/sen/valves/solenoid-valves/industrial-solenoid-valves/ev220b/#tab-overview>
- [74] ABB, «Qué es un variador de frecuencia». Accedido: 6 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- [75] OMRON, «RX | OMRON, España». Accedido: 6 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://industrial.omron.es/es/products/rx>

- [76] 330ohms, «¿Qué es un control PID? - 330ohms». Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.330ohms.com/2021/06/02/que-es-un-control-pid/>
- [77] Picuino, «Controlador PID - Control Automático - Picuino». Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>
- [78] E. Amaury, A. Méndez, A. Por, I. Guillermo, y F. M. Salguero, «IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS RESIDENCIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS».
- [79] BombasCentrifugas, «Sistema Hidroneumático y su funcionamiento - Bombas Centrífugas». Accedido: 11 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bombascentrifugas.net/sistema-hidroneumatico-funcionamiento-y-ventajas/>
- [80] I. Gomez, «Bombas de agua, Motobombas | Servicio técnico | Ignacio Gómez IHM». Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.igihm.com/equipos-de-presion/presion-constante/?codigo=64990000A1>
- [81] J. H. Perry, «Manual del ingeniero químico». 1985. Accedido: 24 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=1a772544-5f66-45ec-bddb-8f226e3721d8%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=ust.USTACRAI.OAI.15441&db=cat09147a>
- [82] V. Yepes Piqueras, «Altura neta positiva de aspiración de una bomba».
- [83] iAgua, «Qué es y cómo se calcula el NPSHdisp de una bomba centrífuga». Accedido: 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npsdisp-bomba-centrifuga>
- [84] I. Gomez, «Hidroflo LA-200». Accedido: 18 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.igihm.com/equipos-de-presion/tanques/?codigo=52696000D4>
- [85] J. W. J. de Wekker V, «SISTEMAS DE BOMBEO - CARACTERISTICAS Y DIMENSIONAMIENTO», 2004, Accedido: 18 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf
- [86] Casaval, «Casaval Pieza clave en instalaciones industriales - Valvulas Colombia». Accedido: 2 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://casaval.net/>
- [87] Schneider Electric, «XB4BD21 - Interruptor selector negro Ø 22mm, 2 posiciones, 1 NA | Schneider Electric Colombia». Accedido: 2 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/co/es/product/XB4BD21/interruptor-selector-negro-%C3%B8-22mm-2-posiciones-1-na/>
- [88] ELECTRO INDUSTRIA, «Sistema de control de bombas: Controlador en cascada». Accedido: 2 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=106&edi=37&xit=sistema-de-control-de-bombas-controlador-en-cascada>