

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1. Introducción

1.1. Antecedentes

La empresa Cascada del Sur S.A. mantiene una posición competitiva en el mercado, lo que conlleva una demanda en constante crecimiento. Este incremento en la producción ha impactado directamente las áreas de tratamiento y fabricación, las cuales constituyen los pilares fundamentales para la generación de insumos y productos finales.

Actualmente, el área de tratamiento opera con recursos humanos limitados, situación que ha generado inconsistencias operativas y afectado la eficiencia de los procesos. Estas limitaciones han motivado la implementación de un sistema de automatización y monitoreo, proyecto que representa un punto de inflexión estratégico para la empresa, al garantizar la optimización de las operaciones y sentar las bases para un crecimiento sostenible.

El presente estado del arte se fundamenta en una exhaustiva revisión bibliográfica y documental, cuyos contenidos proceden exclusivamente de fuentes secundarias especializadas. La información aquí compilada incluye hallazgos, metodologías y avances tecnológicos reportados en libros académicos, artículos de revistas indexadas, investigaciones publicadas y plataformas digitales reconocidas en el ámbito de la automatización industrial.

Cada concepto, dato técnico y referencia a desarrollos existentes ha sido extraído y sintetizado a partir de trabajos previos de investigadores e instituciones dedicadas al estudio de sistemas automatizados, garantizando así un marco de referencia sólido y respaldado por la comunidad científica y técnica global. Este capítulo no incluye aportes originales, sino que organiza y analiza críticamente el conocimiento preexistente, con el

fin de contextualizar y justificar la propuesta de automatización planteada en este proyecto de grado.

1.1.1. Antecedentes teóricos

Las plantas de tratamiento de agua potable en Quito - Ecuador, pueden considerarse como una de las industrias más importantes para la subsistencia de la vida en nuestro planeta, ya que reciben materia prima como el agua cruda con características físico químicas variables y entregan agua potable apta para el consumo humano que cumpla todos los estándares técnicos de calidad.

El objetivo principal de tratamiento de aguas potables son las siguientes

- Higiénico: lograr la remoción de elementos peligrosos y nocivos para la salud humana, entre los cuales podemos mencionar compuestos orgánicos, protozoarios y microorganismos.
- Estético: lograr la corrección de los elementos estéticos del agua superficial y subterránea, como el color, la turbidez, el olor y el sabor.
- Económico: lograr la reducción de parámetros como, por ejemplo, la dureza del agua, la concentración de hierro, la concentración de manganeso, utilizando métodos técnicos que además de ser efectivos, tengan en cuenta el aspecto económico tanto en la construcción como en el mantenimiento de la planta de tratamiento.

(ARAQUE ARELLANO, 2022)

Para la Universidad Privada del Norte, la optimización de los procesos de tratamiento de agua y su automatización ha sido un enfoque clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de recursos hídricos. Investigaciones recientes han demostrado que la incorporación de tecnologías avanzadas, como sensores en tiempo real

y sistemas de control automatizados, permite reducir el consumo energético y minimizar los residuos generados durante el proceso. Además, estas innovaciones facilitan una mayor precisión en la dosificación de químicos y el monitoreo continuo de la calidad del agua, asegurando una operación más confiable y con menores costos operativos. (Fernández, Repositorio Institucional UPN, 2020)

En la UNIVERSIDAD técnica de Ambato de Ecuador, el tratamiento del agua potable es esencial para garantizar que el agua que consumimos sea segura y libre de contaminantes. El proceso de tratamiento incluye pasos como la coagulación, la floculación, la filtración y la desinfección; que ayudan a eliminar impurezas y microorganismos nocivos. Se diseñó un prototipo el cual cumple con las funciones de monitorizar variables importantes para el cumplimiento de la normativa (temperatura, caudal, pH, conductancia, turbidez), además del control de bombas y electroválvulas que sirven para controlar el suministro de agua que fluye en cada etapa. El prototipo se basó en la arquitectura IoT de tres capas. Se utiliza como unidad de procesamiento dos microcontroladores Arduino y ESP8266, los cuales recolectan información de los sensores y envían mediante el protocolo websocket a una base de datos alojado en servidor central en la nube de “Google platform”. El control de electroválvulas y bombas son manejados bajo el protocolo MQTT, permitiendo un control rápido en tiempo real y una dosificación. (Contreras Clavijo, 2023)

1.1.2. Antecedentes de Campo

En Santiago de Querétaro, México, se realizó un estudio sobre el proceso de coagulación-floculación con biopolímeros que sustituyan a polímeros sintéticos en la remoción de metales pesados. La extracción y la caracterización de tres biopolímeros indicó que la pectina extraída de nopal, era una excelente opción para su aplicación como coagulante floculante por su naturaleza aniónica. Empleando pectina de nopal, se realizaron estudios

de remoción de iones metálicos en agua sintética preparada en el laboratorio y posteriormente, en agua residual de la galvanoplastia (Ni^{2+} , Cr^{3+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} y Cu^{2+}). (IBARRA, 2020)

Una revisión sistemática realizada por la Universidad Privada del Norte (Perú), se ha encontrado que para la optimización del proceso de coagulación - floculación es directamente proporcional a la dosificación de coagulantes, coadyuvantes, y polímeros. Es por esto que en los estudios se analiza la efectividad de los mismos, tanto de productos químicos como orgánicos o naturales, dando como resultado en la mayoría de investigaciones el Sulfato de Aluminio como el coagulante químico más efectivo, barato, dominante y más utilizado del mercado, adicional a esto se encontraron diferentes variables que no son objetivo de estudio que influyen en las variables de estudio. (Fernández, REPOSITORIO INSTITUCIONAL UTP, 2021)

1.1.3. Antecedentes Empresariales

La empresa CASCADA del SUR es una embotelladora y productora de bebidas no alcohólicas dedicada al rubro desde sus inicios, es una de las empresas más importante en Bolivia por realzar su nombre, en la actualidad la industria que fue creada por el Señor José Ezzidin Eid Montaña ha podido ser competidora de marcas grandes como lo son Coca Cola, la misma siendo una de las líderes en ventas en el cono sur de Bolivia por distribuir sus productos desde la ciudad de Tarija.

La empresa es tan relevante con su producto, por ello la gaseosa que al pasar el tiempo tuvo cambios en su presentación, pero sin duda no perdió su encanto, teniendo así la marca de Cascada con cinco sabores en sus inicios y ahora llegan a once siendo preferida por los clientes por su variedad, cantidad, calidad y precio, estos factores le dieron a la industria de Cascada su lugar en Bolivia.

Por razones importantes de calidad a la hora de realizar sus productos se tomó la importante decisión de tener un tratamiento de aguas en la misma planta, la extracción de agua se da gracias a una bomba sumergida controladas por un panel de control que enciende tanto las bombas de extracción y de distribución, llenando el reactor donde se le añade los reactivos necesarios, en sus inicios el añadido era gradual, se realizaba con molinete de brazos impulsados por la corriente de agua que se agregaba, el brazo recogía cierta cantidad de óxido de calcio y lo añadía, con el sulfato ferroso se tenía el principio de diluirla en un tanque de agua de 600 litros para su añadido y el cloro se añade en el pozo de manera manual, viendo que el óxido de calcio no se disolvía bien y se precipita en la base, se tuvo la idea de implementar una manera de que los reactivos se agitaran continuamente, para esto se agregó un tanque de 600 litros tanto para el óxido de calcio y sulfato ferroso, en el interior un tubo perforado que libera aire a presión continua esto mezcla el agua con los reactivos que se añaden de manera manual previamente medias en ambos tanques y se libera hacia el reactor mediante mangueras conectadas a la base de los mismos.

En la actualidad no se tuvo más cambios en el tratamiento o la dosificación de los reactivos mencionados, y su añadido manual que se realiza a diario teniendo que operarlo y supervisarlo de forma continua para tener el control de su calidad.

1.2. Descripción de la empresa

1.2.1. Descripción de la situación problemática

La empresa Cascada del Sur, parte del Grupo Industrial La Cascada, enfrenta dificultades en la gestión del proceso de tratamiento de agua en su planta. Este proceso, fundamental para garantizar la calidad del agua, se realiza de manera manual y de supervisión continua, lo que implica una gran carga operativa para el personal a cargo. El tratamiento incluye

el llenado manual de tanques con agua y reactivos, seguido de un control exhaustivo del proceso mediante muestras de agua que son analizadas en el laboratorio.

La empresa requiere de una cantidad mínima de agua tratada de 160 m³ por día, esto suele ser en épocas de producción, para épocas de alta producción el requerimiento llega a ser de 320 m³ de agua siendo el máximo necesario que tiene la empresa por periodos cortos, siendo un punto de importancia para que el agua este bien tratada antes de entrar como insumo a las líneas de gaseosa y de purificación, la insistencia del tratamiento por parte de los productos y de la empresa en general, son clave dentro de la producción.

Las pruebas de laboratorio, que requieren entre 15 y 20 minutos para completarse, se realizan cada 30 o 60 minutos, según las necesidades de la empresa. Estas pruebas permiten medir tres parámetros clave:

La cantidad de óxido de calcio presente en el agua tratada que proviene del reactor.

La cantidad de óxido de calcio en el filtro de arena.

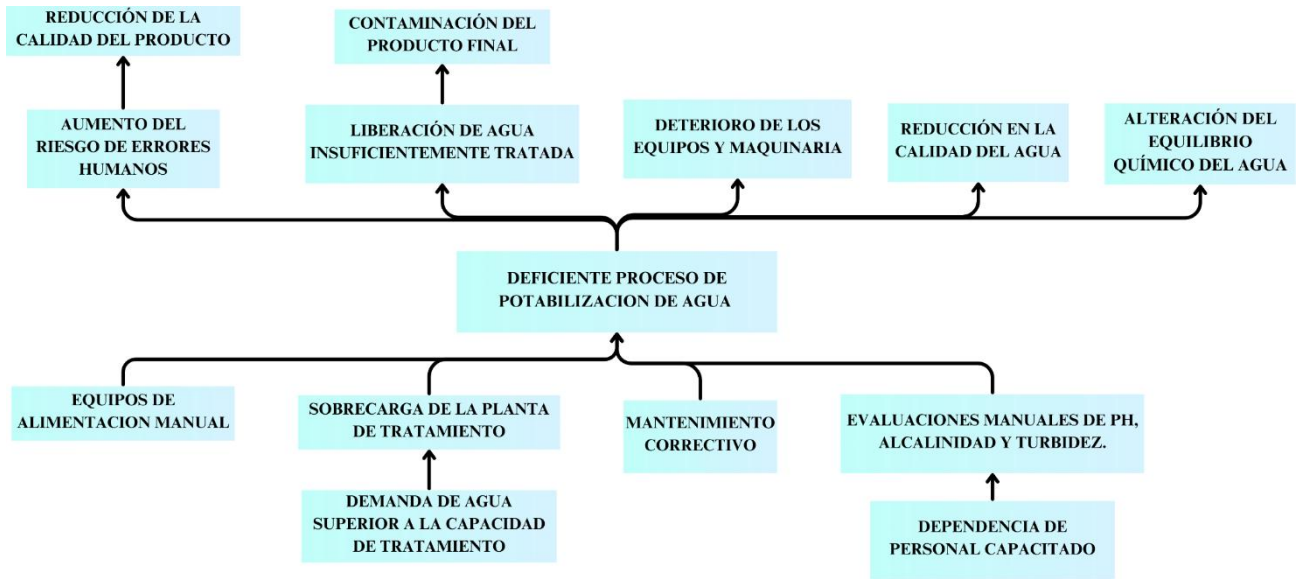
La eficacia de la reacción en el reactor, cuyo valor debe mantenerse entre 0 y 50 para considerarse efectiva.

Presencia de cloro en reactor y filtro de arena.

Todo el proceso es supervisado por un único ingeniero que no solo se encarga de este control, sino también de otras tareas en la planta. Esto implica que cuando el encargado tiene que atender otras obligaciones, el control del proceso puede sufrir retrasos o inconsistencias, lo que puede comprometer la eficiencia y calidad del tratamiento del agua. La falta de automatización y la dependencia de un solo operario generan riesgos en la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

1.3.Árbol de problemas

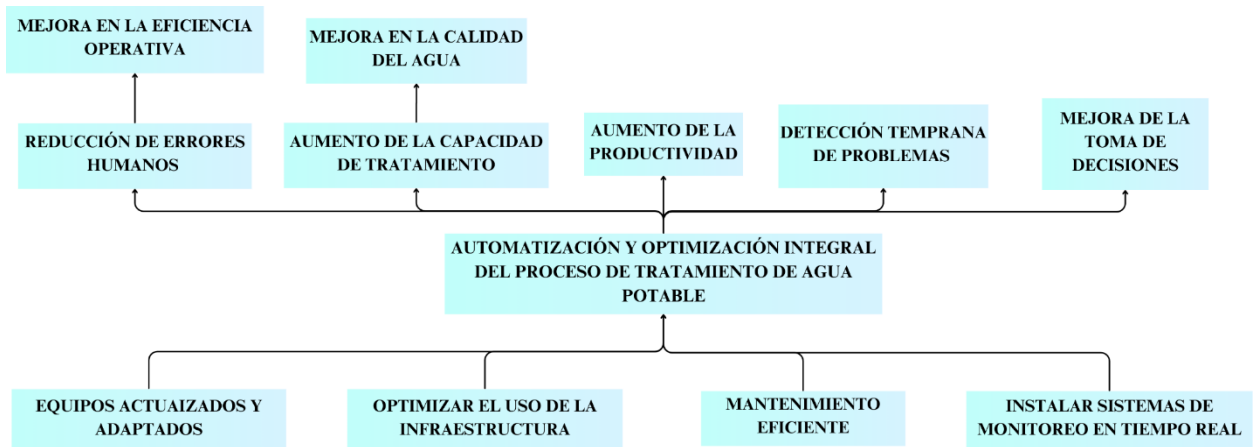
Figura 1
Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia

1.4.Árbol de soluciones

Figura 2
ARBOL DE SOLUCIONES



Fuente: Elaboración propia

1.5.Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Proponer un sistema automatizado para el proceso de tratamiento del agua en la empresa Cascada del Sur, con la finalidad de mejorar la eficiencia en el control de calidad, garantizando el cumplimiento de parámetros.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar las etapas críticas en la fase inicial del tratamiento, mediante una evaluación, con el fin de priorizar acciones de mejora.
- Evaluar las tecnologías disponibles para la automatización del proceso en las etapas deficientes.
- Elaborar una propuesta de automatización para el proceso de tratamiento de agua.
- Elaborar documentación sobre el control del tratamiento de agua en la empresa Cascada.
- Evaluar económicamente la propuesta.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación Académica

Este proyecto se fundamenta en diversas áreas de estudio de la ingeniería industrial, como la automatización de procesos, el control de calidad, la gestión de recursos humanos, y la optimización de sistemas productivos. Al abordar la problemática del proceso manual de tratamiento de agua en la empresa Cascada del Sur, este trabajo contribuye al desarrollo académico, brindando la oportunidad de aplicar teorías y metodologías técnicas en la solución de problemas industriales complejos.

1.6.2. Justificación Técnica

La automatización del proceso de tratamiento de agua en la empresa Cascada del Sur es esencial para garantizar la consistencia y precisión en los resultados de calidad.

Actualmente, la dependencia de un solo operario y el uso de controles manuales generan una serie de ineficiencias que afectan tanto el rendimiento como la calidad del producto final. La propuesta de automatización permitirá implementar un sistema de monitoreo continuo y preciso, eliminando los errores humanos, optimizando el uso de los reactivos, y asegurando que el proceso se mantenga dentro de los parámetros óptimos sin la necesidad de una intervención manual constante. Esto redundará en un proceso más eficiente y confiable, cumpliendo con los estándares técnicos de la industria.

1.6.3. Justificación Legal

El proyecto se alinea con las normativas vigentes en Bolivia, particularmente aquellas relacionadas con la seguridad, la calidad de los productos y el manejo de recursos hídricos. La empresa Cascada del Sur, localizada en Tarija, Bolivia, debe cumplir con la legislación nacional sobre control de calidad en productos alimentarios y bebidas, la Ley 1333 de Medio Ambiente y las regulaciones emitidas por el Ministerio de Salud y Deportes, así como las normas del Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios Básicos (SENASBA). La automatización del tratamiento de agua también garantiza que se respeten los límites permisibles de calidad del agua establecidos en las normativas de calidad de productos y protección del consumidor, minimizando riesgos legales y sanciones económicas que pudieran derivarse de incumplimientos.

1.6.4. Justificación Económica

La automatización del proceso de tratamiento de agua permitirá a la empresa reducir costos operativos a mediano y largo plazo. Al disminuir la dependencia de personal para realizar tareas manuales repetitivas, la empresa optimiza la utilización de sus recursos

humanos, permitiendo que el ingeniero responsable se enfoque en tareas más estratégicas. Asimismo, un proceso automatizado reducirá el desperdicio de reactivos y recursos, mejorando la eficiencia y disminuyendo el costo unitario de producción. A largo plazo, la inversión en la automatización puede traducirse en ahorros significativos, un aumento en la productividad y la mejora de la calidad del producto, lo que refuerza la competitividad de la empresa en el mercado.

1.6.5. Justificación Personal

Este proyecto de grado demuestra la aplicación de conocimientos académicos en un contexto industrial real mediante la colaboración con Cascada del Sur. La integración de teoría y práctica contribuye al desarrollo de competencias profesionales en ingeniería industrial, particularmente en automatización y optimización de procesos, preparando al estudiante para desafíos laborales futuros.

1.7. Metodología

1.7.1. Tipo de investigación

- Investigación descriptiva

El presente proyecto de automatización aborda soluciones tecnológicas específicas para cada tipo de proceso involucrado. Para ello, se describirá de manera concisa cada etapa del tratamiento, identificando sus fallos, puntos críticos y requerimientos de mantenimiento, con el objetivo de realizar un diagnóstico preciso y proponer alternativas adecuadas a las problemáticas detectadas.

- Investigación propositiva

Las alternativas propuestas, derivadas del diagnóstico realizado, deben estar orientadas a reducir o eliminar las causas de los fallos identificados, con el fin de prevenir su recurrencia. Se plantearán al menos dos alternativas que aborden el problema de manera

lógica y proporcional a su nivel de complejidad, permitiendo realizar un análisis comparativo que identifique la opción más adecuada en términos de tecnología, componentes, costos, alcance, capacidad de registro y adaptabilidad.

1.7.2. Diseño

Tabla 1
Diseño metodológico

Etapa de Diseño	Elementos del Sistema	¿Por qué se Diseña así?	Causalidad en Procesos de Tratamiento
1. Análisis de Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> - Sensores de pH/cloro - Transmisores 4-20 mA - PLC con módulos AI 	Porque se requiere medición precisa y en tiempo real de parámetros críticos de calidad	El pH y cloro determinan eficacia de desinfección; variaciones causan agua no apta o sobredosificación química
2. Arquitectura de Control	<ul style="list-style-type: none"> - PLC centralizado -Red PROFINET/Ethernet IP - Estaciones remotas ET200SP 	Para tener control unificado, comunicación confiable y distribución de E/S cerca de puntos de medición	Un control fragmentado causa descoordinación entre etapas (coagulación-filtración-desinfección)
3. Lógica de Control	<ul style="list-style-type: none"> - Alarmas por límites -Secuencias automáticas de lavado 	Porque se necesita ajuste proporcional de químicos, detección temprana de fallas y operaciones cíclicas	Dosificación manual causa fluctuaciones en calidad; alarmas tardías permiten producción de lotes no conformes
Etapa de Diseño	Elementos del Sistema	¿Por qué se Diseña así?	Causalidad en Procesos de Tratamiento
4. Interfaces Operativas	<ul style="list-style-type: none"> - HMI táctil en planta 	Para operación local, análisis de tendencias y monitoreo remoto	Sin visualización clara, operadores cometen errores; sin históricos no se optimizan procesos
5. Diseño de Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Paros de emergencia (E-Stop) - Redundancia en sensores críticos - Sistemas SIL2/PLd 	Para proteger personal, equipo y garantizar continuidad ante fallas	Accidentes químicos o fallas catastróficas detienen producción por días/semanas
6. Protocolos Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> - OPC UA para SCADA - Modbus TCP para instrumentos 	Para integración multi-vendor, estandarización y futuro crecimiento	Sistemas aislados (islas de automatización) impiden optimización global del tratamiento

	- MOTT para IoT/Cloud		
7. Gestión de Energía	- Variadores de frecuencia en bombas - Control horario de equipos - Monitoreo de consumos	Para reducir costos operativos y cumplir normas de eficiencia energética	Bombas a velocidad fija consumen 30-50% más energía; operación innecesaria genera gastos
8. Documentación	- Diagramas P&ID actualizados - Manuales de operación - Procedimientos de calibración	Para mantenimiento correctivo/preventivo y capacitación de personal	Sin documentación, el conocimiento se pierde con rotación de personal, aumentando MTTR

Fuente: Elaboración propia

1.7.3. Enfoque

El proyecto se centra en el área de tratamiento de agua potable, específicamente en el proceso del reactor, el cual constituye la etapa más crítica del sistema. Actualmente, este reactor es monitoreado de forma continua durante la jornada laboral, registrándose los datos en planillas operativas para garantizar su efectividad diaria.

Para el desarrollo del estudio, se tomarán como base los manuales operativos existentes y los datos históricos de laboratorio, los cuales serán fundamentales para realizar un diagnóstico preciso del proceso actual.

1.7.4. Alcance

se tomará como limite el diagnostico que se realice dando mejor visión sobre la automatización que se deba implementar al tratamiento y su respectivo proceso:

INCLUIDO:

1. Diseño del sistema de control con PLC
2. Instalación de 2 sensores de pH

3. Programación de lógica de control
4. Interfaz HMI básica con pantalla de monitoreo
5. Cableado y conexiones
6. Pruebas de funcionamiento por 48 horas continuas
7. Manual de operación básico

EXCLUIDO:

1. Modificaciones a infraestructura eléctrica existente
2. Sensores adicionales
3. Sistema de monitoreo remoto
4. Mantenimiento preventivo después del primer mes
5. Capacitación extensiva al personal
6. Certificaciones o permisos regulatorios
7. Actualizaciones de software futuras

LÍMITES:

- Área de implementación: Solo tanque de mezcla principal
- Personal afectado: Operadores del turno diurno
- Horario de instalación: Solo en horario no productivo (fines de semana)
- Recursos: Máximo 2 técnicos asignados simultáneamente

SUPUESTOS:

1. La alimentación eléctrica es estable (220V)

2. Los químicos a dosificar están disponibles continuamente

3. Existen perdidas de agua en los procesos

1.7.5. Técnicas e instrumentos utilizados

Para realizar todo el diagnostico se usará lo siguiente:

- Análisis de Cuadro sinóptico
- Flujogramas
- Mediciones
- Revisión de maquinaria
- Análisis de Balance masico

Herramientas de toma de datos.

- PH metro
- Planillas de control
- Laboratorio
- Flexómetro
- Análisis Modal de Fallos y Efectos
- Revisión in situ

CAPITULO 2
MARCO TEORICO

1. Marco Teórico

1.1. Marco Científico o referencial

1.1.1. El agua y sus características

Es también llamada agua bruta, que generalmente no es segura para el consumo humano, por lo que el uso de la misma para beber y cocinar en algunos países en desarrollo es un problema de salud importante. Asimismo, el agua cruda o agua bruta es aquella que no ha recibido ningún tratamiento y que no ha sido aún introducida en la red distribución. Se encuentra en fuentes y reservas naturales tanto de aguas superficiales como aguas subterráneas. El agua cruda contiene materia orgánica, materia inorgánica y microorganismos, así como sabor, olor, color y turbidez, por lo que antes de poder ser considerada como agua potable, el agua cruda o bruta debe pasar por los diferentes procesos que la conforman. Es por esta razón por la que beber este tipo de agua, que no ha sido tratada o sometida a controles estrictos de seguridad alimentaria, puede suponer un riesgo para la salud (Jiménez Gascón, (2022))

Tabla 1
Parámetros del agua cruda antes del tratamiento

Parámetros	Características	Rango o porcentaje en el agua
Turbidez	Representa la transparencia del agua, y resulta en posibles actividades biológicas o presencia de componentes no deseables.	Turbidez ≥ 20 UNT y color ≥ 5 UPC
Dureza	Concentración de iones de calcio y magnesio en el agua	Dureza ≥ 180 mg/L
Hierro y manganeso	Metal pesado, de fácil ingestión, tóxico para niños pequeños.	Hierro y Manganeso ≥ 2 mg/L
PH	Medida de intensidad de acidez en la disolución.	pH < 7

Fuente: Recopilación del trabajo de (Rodríguez, 2024)

1.1.2. Control de calidad

La UTS veía necesario el proceso metodológico que permitió el cumplimiento de la práctica fue por medio de la herramienta informática Sistema Software de Plantas donde se pudo llevar a cabo el monitoreo, el registro en la planilla de operación y el control de los insumos químicos utilizados en el área de tratamiento. Como resultados esperados se obtuvo la información precisa de las condiciones de calidad de agua bajo el control y vigilancia de los procesos de tratamiento, obteniendo todos los valores de las características fisicoquímicas por medio de gráficas y los análisis posteriores de la información. (Calderón Lizcano, 2020)

1.1.3. Automatización

Por medio del presente proyecto se plantea el diseño de la automatización del proceso de potabilización de agua de la planta de tratamiento del Zoológico de Cali, mediante un SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) que permita un control más eficiente en la PTAP, puesto que en la actualidad se están ejecutando procedimientos manuales que dificultan la potabilización del suministro del recurso hídrico proveniente del río Cali, el cual se encuentra allegado a las instalaciones, lo que conlleva al incumplimiento de la regulación establecida y pone en riesgo la salud de trabajadores y visitantes. (Carrillo Jurado, 2023)

1.1.4. Investigación descriptiva

El presente artículo de la universidad autónoma del Perú, pretende esclarecer las características de los estudios descriptivos dentro de la investigación científica. En muchos trabajos de investigación se les asocia a los estudios relacionales o denominados correlacionales (término derivado de la estadística) y ello confunde a los que se inician en los procesos investigativos, así como no permite identificar claramente las

singularidades de las investigaciones de nivel descriptivo. (*Universidad Autónoma del Perú, 2020*)

1.1.5. Investigación propositiva

En principio el instituto de investigaciones de Lima – Perú, considera las investigaciones o estudios científicos pueden ser clasificados desde dos perspectivas, ambas mutuamente complementarias, aunque claramente diferentes. En primer lugar, pueden clasificarse en función del objetivo que persiguen; es decir, atendiendo al tipo de conocimientos que el investigador busca al realizar un estudio. En segundo lugar, las investigaciones difieren y pueden clasificarse también en función del método que el investigador utilice para llevar a cabo el proceso de investigación; esto es, según la forma de generar la información que luego se convertirán en nuevos conocimientos. (Burga, 2022)

1.1.6. Enfoque mixto

La universidad de Panamá, se determina que el uso de métodos cualitativos y cuantitativos en una misma investigación tiene una larga historia, no fue hasta la década de los ochenta, cuando esta estrategia comenzó a formalizarse y a adoptar una entidad propia. Dicha formalización se ha materializado, durante las últimas cuatro décadas, en la publicación de un numeroso volumen de literatura describiendo procedimientos singulares para el diseño e implementación de estudios mixtos. (Agrazal, 2023)

1.1.7. El PH en el agua

El presente documento hace parte de la segunda etapa del proyecto de investigación “Sistema de Monitoreo en Tiempo Real de los Niveles Freático y de Calidad de los Acuíferos de la Ciudad de Santa Marta”, el cual tiene como finalidad, alimentar el proyecto de investigación con la recopilación de los estudios realizados por los consultores del ESSMAR E.S.P. Se basan principalmente de la recolección de datos en

los cuerpos de agua del acuífero, el propósito del proyecto es el análisis espacio temporal de los parámetros físico-químicos como son la conductividad y el pH para evaluar los estándares de calidad del agua bajo el reglamento que rige en el país en los pozos monitoreados. (Ruiz Bravo, (2019))

1.1.8. Molaridad

El mol es una medida de la cantidad de sustancia del sistema internacional, y la molaridad o concentración molar es la concentración expresada en número de moles de soluto por litro de disolución. Es una medida de concentración muy utilizada en química y bioquímica, siendo sus unidades más frecuentemente usadas son mol/dm³ (mol/L). Dado su elevado uso, es necesario conocer cómo cambiar de molaridad a otras unidades de concentración, así como realizar los cálculos de masas, moles o pesos moleculares a partir de la misma, o para preparar disoluciones de una molaridad determinada.

$$M_1 * V_1 = M_2 * V_2$$

DATOS:

M_1 = concentración de ácido sulfúrico

V_1 = volumen de ácido gastado en titulación

M_2 = concentración de hidróxidos existentes en solución

V_2 = volumen final de solución

(Gamarra Ordoñez, 2021)

1.1.9. Cloro

En el trabajo de investigación se tuvo la finalidad de evaluar la concentración de compuestos clorados en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Acobamba,

y compararlos con los límites máximos permisibles del DS. N° 031-2010-SA. Se realizó el método de investigación inductivo - deductivo, a través del diseño de investigación no experimental – tipo transversal. Los instrumentos de recolección de datos fueron el comparador de cloro (cloro total) y clorímetro tipo disco (cloro residual libre), ficha de recojo de datos y el DS. N° 031-2010-SA. Para la técnica y procesamiento de análisis de datos se utilizó la prueba de Z a través del cálculo directo y la comprobación con el software Minitab 18 y Microsoft Excel para realizar las gráficas y otros cálculos. Los resultados obtenidos fueron que la concentración de los compuestos clorados se encuentra en niveles por debajo de los LMP establecidos en el DS. N° 031-2010-SA. Los cuales son ≤ 5 mg/L para cloro total y ≥ 0.5 mg/L para cloro residual libre. En conclusión, la concentración de los compuestos clorados en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Acobamba para el cloro total está dentro de los límites máximos permisibles, pero en cantidades mínimas, por lo tanto, el agua es apto para consumo humano. (Araujo, 2021)

1.1.10. Aplicación del análisis modal de fallas y efectos

En este trabajo se aplicó el análisis de riesgo, empleando la metodología de Análisis modal de fallas y efectos al proceso de producción de cápsulas blandas a partir del principio activo extracto lipídico del fruto de la palma, suplemento nutricional, que se utiliza en la terapia contra la Hiperplasia Prostática Benigna, de alta incidencia en la población masculina mayor de 50 años. Se emplearon herramientas básicas como: tormenta de ideas, trabajo en equipos, diagrama de flujo y esquema de Ishikawa. Se evaluó el impacto de las causas potenciales de fallas sobre el proceso, basado en el Número de Prioridad de Riesgo, calculado a partir de los índices de severidad, probabilidad de ocurrencia y de detección. Los factores de mayor impacto fueron: parámetros físicos ambientales fuera de límite de especificación (temperatura y humedad

relativa), insuficiente o incorrecto flujo de aire en el proceso de secado, inadecuado mezclado de los ingredientes de la formulación, cambio de calidad del agua purificada, desajuste o rotura del equipamiento principal e insuficiente capacitación del personal. Se propusieron acciones preventivas para minimizar el riesgo asociado al proceso.

Calificar cada fallo con:

- Severidad (S): Gravedad del efecto (10-8)
- Ocurrencia (O): Frecuencia probable (7-4)
- Detección (D): Facilidad para detectarlo (3-1)

Cálculo de NPR (Número Prioritario de Riesgo)

Formula:

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

El total que se muestra de 280 puntos se basara en la tabla siguiente:

Umbral de Criticidad:

- $\text{NPR} > 100 \rightarrow$ Punto CRÍTICO
- $\text{NPR} 50-100 \rightarrow$ Punto de atención media
- $\text{NPR} < 50 \rightarrow$ Baja prioridad

(Martha, 2020)

1.1.11. Indicador ROI

El Retorno de Inversión (ROI) constituye una métrica financiera fundamental para evaluar la viabilidad económica de proyectos de automatización industrial. En el período 2020-2025, su aplicación ha evolucionado de un indicador puramente financiero a un indicador estratégico multidimensional, incorporando variables tecnológicas, operativas y de sostenibilidad. (Kumar, 2020)

1.2.Marco Técnico

1.2.1. Sistema SCADA, PLC e IOT

Los sistemas sistema de control y monitoreo industrial son herramientas que permite tener información sobre el estado de una planta industrial, así como el control de esta, desde un monitor donde los operarios visualizan los datos para corroborar el comportamiento normal de la industria, sin embargo es necesario la creación de sistemas SCADA que integren nuevas tecnologías de la nueva revolución industrial, como la realidad aumentada (RA), que permite tener una mejor interacción con los sistemas de monitoreo y control, además de promover la interconectividad de dispositivos para compartir información a través del Internet de las Cosas (IoT). (Cruz Cando, 2023)

1.2.2. Sistema PLC

La presente investigación de diseño e implementación de un Sistema de Modulo Didáctico para el Control del Proceso de Llenado de Recipientes Mediante PLC, permite a través del programable PLC, controlar las acciones de mezclado de líquidos con sensores de niveles de líquidos situados estratégicamente en los recipientes los cuales enviaran las señales correspondientes al CPU para que este a su vez comande las acciones correspondientes a través de los actuadores tales como electroválvulas, bombas y mezcladores, los cuales efectuaran el proceso de mezclado. (Abad, 2023)

1.2.3. Sensores y Actuadores

Dentro de estos procesos industriales es indispensable el uso de líquidos ya sea como materia prima, como agente lubricante o como producto final. Debido a lo anterior un sistema sustancial es el sistema de llenado y nivel de tanques. El enfoque de este artículo

fue recopilar información acerca de un sistema de control de llenado y nivel de tanques que hace uso de sensores y actuadores electromecánicos y el modelado matemático que describe su funcionamiento. El uso de sistemas de control de llenado y nivel en plantas de tratamiento de agua permiten que los procesos sean más eficientes y productivos. (Alexandro Jaffet Cribas)

Se desea conectar y hacer un control de un módulo de filtrado de agua para riego sobre hidropónicos a un PLC. Adicionalmente, se desea empezar la simplificación de la instalación y cableado por medio de un bus de campo, cosa que, es la base para el desarrollo e integración de los diferentes módulos existentes para así lograr un sistema casi que auto-sostenible para cultivos hidropónicos. La implementación de un bus de campo es muy importante pues, además de dar más puertos para los sensores y los actuadores, simplifica la instalación y permite tener mucha más claridad sobre el sistema en cuanto a los diagnósticos de los elementos. (Briceño Quintero, 2019)

En este proceso de transformación digital de la industria, los sensores y actuadores juegan un papel fundamental. Los sensores y actuadores son unos dispositivos imprescindibles en cualquier sistema de control y automatización de un proceso industrial (figura 1) que se integran en el nivel de campo de la pirámide de la automatización. A grandes rasgos, los sensores son dispositivos que miden las variables de interés del proceso industrial que se pretende controlar, proporcionando dicha información a la parte de control. (MATEO, www.mintur.gob.es, 2023)

1.2.4. Electroválvulas

El objetivo es optimizar el tiempo de operación mediante una comunicación eficiente entre la Master Station y el controlador de proceso, logrando una sincronización precisa y una interfaz gráfica de usuario (HMI) que minimice los errores operativos. La

metodología incluye un análisis comparativo entre los modos manual y automático en la operación de válvulas, demostrando que el modo automático reduce el tiempo de operación y el consumo energético. Los resultados evidencian que el modo automático es más eficiente energéticamente, con un ahorro de 849.79 kWh en el llenado de los tanques y 567.22 kWh en la descarga, en comparación con el modo manual. Además, se redujo el mantenimiento del sistema, disminuyendo la frecuencia de cambio de filtros de cinco a dos veces al año. (Lalaleo Saltos, 2025)

1.2.5. Programación y software

La temática tratada en el documento abarca principalmente la influencia de la arquitectura orientada al servicio y de cómo los servicios se orquestan entre sí para el desarrollo de aplicaciones más robustas y dinámicas orientadas a la solución de problemáticas presentadas en el diseño de sistemas de automatización industrial.

En la actualidad, las industrias están obligadas a utilizar nuevos sistemas que soporten la dinámica a la que se enfrentan las organizaciones. Sin embargo, los sistemas actuales de las empresas carecen de este dinamismo, lo que muchas veces imposibilita la implementación de nuevas funcionalidades a los procesos de producción autónomos, debido a la poca flexibilidad y agilidad de responder a la dinámica de los estilos de producción que se experimentan hoy día. La ingeniería de software aporta a la dinámica en el área de la automatización industrial, resaltando mejoras significativas en la configuración de sistemas implementados en el campo de la automatización industrial. (Ángel Mejía-Neira, 2019)

1.2.6. Ladder

Los controladores lógicos programables (PLC) se utilizan en numerosos sistemas industriales y de infraestructura para supervisar sensores de entrada y controlar

actuadores. Con la creciente demanda de sistemas adaptativos, robustos e inteligentes para la fabricación, el transporte y los sistemas industriales, la demanda de ingenieros competentes en PLC ha ido en aumento. Sin embargo, el currículo de ingeniería típico se centra más en los principios fundamentales y otras aplicaciones, sin abordar los PLC. Los empleadores desean, y los estudiantes anhelan, habilidades y competencias prácticas y prácticas en el mundo laboral. Este estudio ha explorado y desarrollado módulos educativos para PLC que, con un mayor desarrollo y pruebas, podrían incorporarse a los cursos de ingeniería. Dichos módulos fomentarían el conocimiento, la comprensión y la competencia de los estudiantes para que puedan contribuir en un área con creciente demanda en el mercado laboral.

(Conferencia Anual 2020 Sección Noreste (ASEE-NE), 2020)

1.3.Marco Legal y Normativo

1.3.1. Norma ISO 24512 y 24510

Las Normas ISO 24510 y 24512 son estándares internacionales que abordan la gestión de servicios de agua y el agua en las comunidades, específicamente en el contexto de la gestión y el control de la calidad del agua. A continuación, se describen brevemente ambas normas:

ISO 24510: Gestión de Servicios de Agua

- **Objetivo:** Estas normas directrices proporciona sobre la gestión de servicios de agua y saneamiento, enfocándose en mejorar la calidad de vida de la población y la sostenibilidad de los recursos hídricos. (ISO, ISO, 2013)

ISO 24512: Gestión del Agua en las Comunidades

- **Objetivo:** Esta norma se centra en la gestión sostenible del agua en las comunidades, proporcionando directrices para la planificación y la gestión de los

recursos hídricos locales. (ISO, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, 2013)

1.3.2. Norma de la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) proporciona directrices y recomendaciones sobre la calidad del agua, centrándose en su importancia para la salud pública y el bienestar.

Colaboración Internacional: La OMS colabora con gobiernos, organizaciones no gubernamentales y otros actores para desarrollar políticas y programas que abordan la calidad del agua a nivel global. Esto incluye la implementación de iniciativas para mejorar el acceso al agua potable en comunidades vulnerables.

La OMS desempeña un papel vital en la promoción de la calidad del agua y la protección de la salud pública a nivel mundial, trabajando para garantizar que todas las personas tengan acceso a agua potable segura. (Salud, 2018)

1.3.3. Normas bolivianas

- Código Nacional de Recursos Hídricos

Ley N°2029 (1999): Establece el marco normativo para la gestión y protección de los recursos hídricos en Bolivia. Reconoce el agua como un recurso estratégico y define su uso sostenible y equitativo.

- Ley General de Agua (Ley N.º 110)

Promulgada en 2016: Esta ley busca garantizar el acceso al agua potable y el saneamiento, promoviendo la gestión sostenible y participativa de los recursos hídricos.

Derecho al Agua: Reconoce el acceso al agua como un derecho humano y establece principios para su gestión, como la equidad y la sostenibilidad.

- Normas Técnicas de Calidad del Agua

Normas de Calidad del Agua Potable: La Ley N.º 290 (2009) y sus reglamentos establecen los parámetros de calidad del agua potable, incluyendo límites para contaminantes microbiológicos, químicos y físicos. Estas normas son fundamentales para asegurar la potabilidad del agua y proteger la salud pública.

- Regulación Ambiental

Ley de Protección y Defensa del Consumidor (Ley N.º 351): Establece normas para la protección de la salud de los consumidores, lo que incluye la regulación de la calidad del agua y su uso en la industria y el suministro público.

Ley de Medio Ambiente (Ley N.º 1333): Regula la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, incluido el agua, y establece mecanismos para la evaluación de impacto ambiental en proyectos que puedan afectar fuentes hídricas.

- Políticas de Saneamiento

Política Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico: Desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, busca garantizar el acceso universal al agua potable y al saneamiento, promoviendo inversiones y mejoras en infraestructura.

- Instrumentos de Gestión y Planificación

Planes de Gestión de Cuenca: Se establece un nivel regional para promover la gestión integrada de los recursos hídricos, considerando las necesidades de las comunidades y el medio ambiente.

- Regulación de Recursos Hídricos Subterráneos

Normativa sobre Recursos Hídricos Subterráneos: Se establece la regulación del uso y extracción de aguas subterráneas, incluyendo permisos y controles para evitar la sobreexplotación. (Boliviana, 2005)

1.3.4. Normativa SENASAG

La Ley N.º 2061 del SENASAG es fundamental para garantizar la sanidad agropecuaria e inocuidad alimentaria en Bolivia, protegiendo la salud pública y promoviendo la producción de alimentos seguros y de calidad. A través de esta ley, se busca establecer un marco normativo claro y efectivo que regule las actividades agropecuarias y garantice la protección del consumidor.

Protección de la Salud Pública: La ley tiene como objetivo principal proteger la salud de la población mediante la regulación de la calidad e inocuidad de los alimentos de origen agropecuario. (Administrativa, 2019)

CAPITULO 3

EMPRESA

1. Identificación de la empresa

1.1. Empresa

Tabla 1

Tabla informativa de la Empresa Cascada del Sur S.A.

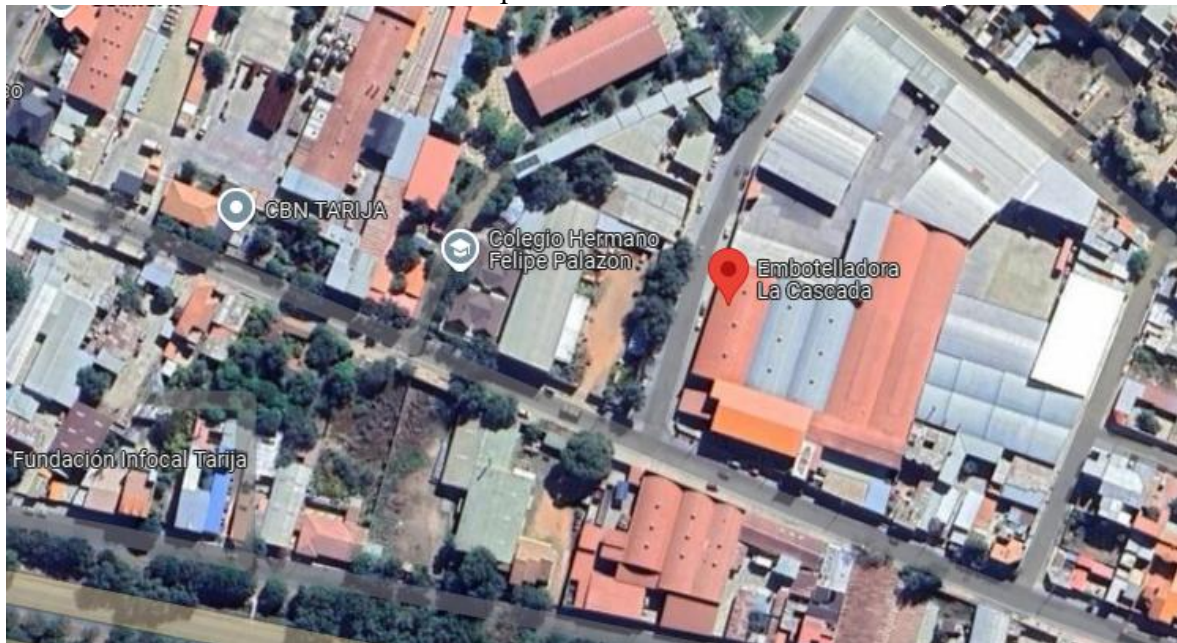
Año	Gerente General / Liderazgo	Productos Principales	Historia / Hitos Clave
1965	José Ezzidin Eid Montaña y Angelina Torchio de Eid (Fundadores)	Coka Quina, Naranjada, Fresoda, Pomelo, Guaraná Champagne	Fundación el 6 de septiembre en La Paz. Inicio de producción con sabores propios.
1966	José Ezzidin Eid Montaña	Agua Mineral Viscachani (nuevo) + línea de gaseosas	Obtención de licencia para explotación de aguas termales de Viscachani. Instalación de planta moderna en dicha localidad.
1978	José Ezzidin Eid Montaña	Gaseosas, Agua Viscachani	Expansión a Tarija: inauguración de segunda planta, pionera en refrescos en el sur de Bolivia.
1979	José Ezzidin Eid Montaña	Gaseosas, Agua Viscachani	Inauguración de planta en Cochabamba, consolidando presencia en el eje central.
1982	José Ezzidin Eid Montaña	Gaseosas, Agua Viscachani	Inauguración oficial de planta en El Alto, ampliando cobertura en el altiplano.
1995	José Ezzidin Eid Montaña	Gaseosas, Agua Viscachani	Puesta en funcionamiento de planta en Villamontes, cubriendo la demanda de la región chaqueña.
2000	José Ezzidin Eid Montaña	Gaseosas, Agua Viscachani, Agua Villa Santa (nuevo)	Incorporación de la planta embotelladora “Villa Santa” de Santa Cruz, completando cobertura nacional en los cuatro puntos cardinales.
Actualidad	Gerente General no especificado	Gama variada: gaseosas, aguas minerales, jugos	Grupo Industrial La Cascada mantiene crecimiento continuo, con compromiso de calidad y presencia en todo Bolivia. Se consolida como empresa familiar con impacto nacional.

Fuente: Empresa Cascada del Sur

1.2.Ubicación

La Empresa está ubicada en la Esq. Entre Electo Díaz y Av. Héroes del Chaco, la misma cuenta con generadores y sopladoras que se encuentran cruzando la Avenida héroes del chaco.

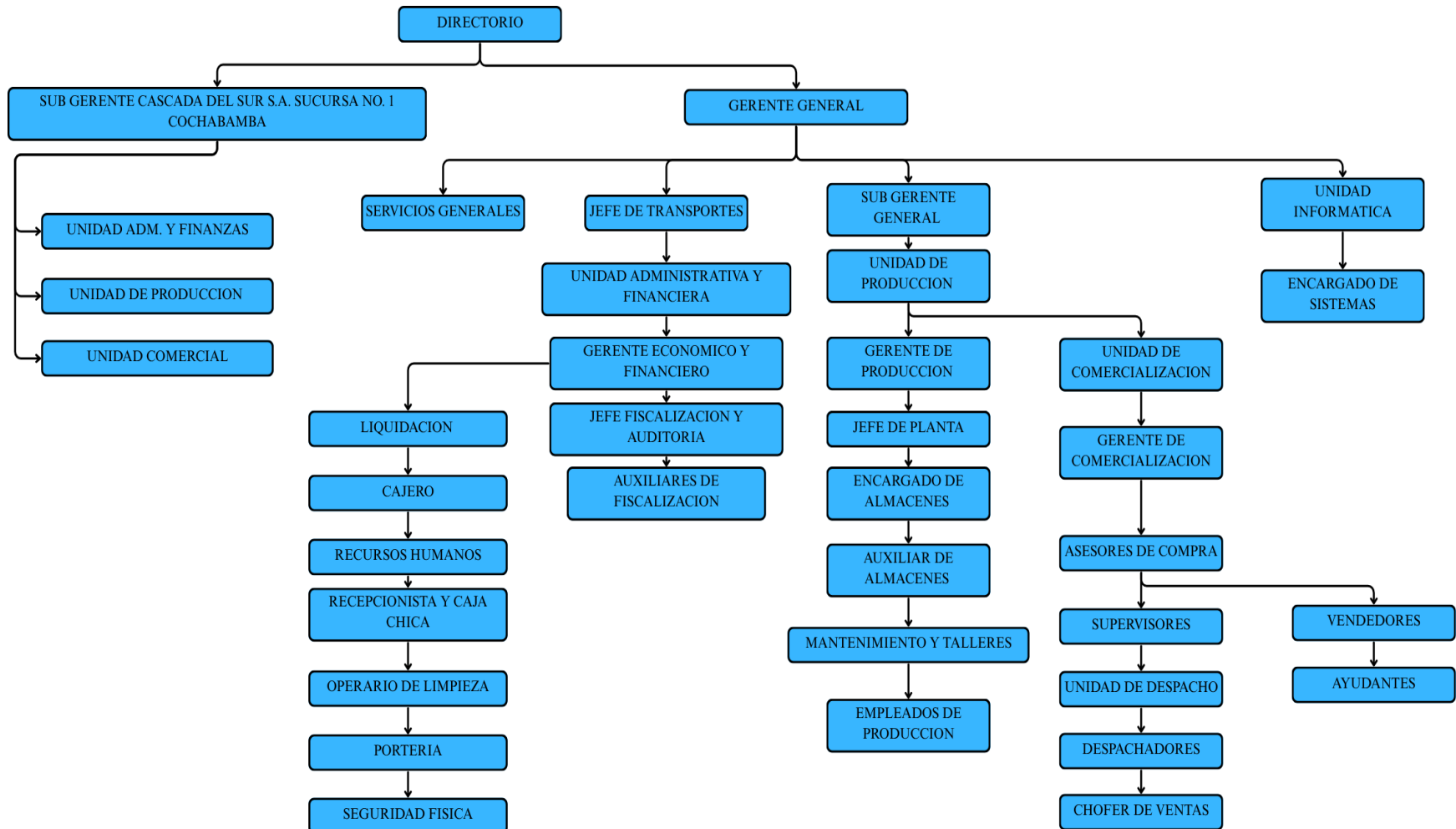
Figura 1
Ubicación de empresa CASCADA DEL SUR



Fuente: Google Maps

1.3.Organización

Figura 2
Organigrama de la empresa Cascada del Sur





Fuente: Empresa Cascada del Sur

1.4.Productos y/o servicios

La empresa se caracteriza por producir bebidas no alcohólicas y agua de mesa, cada uno de los productos que se muestran son totalmente producidos desde 0 dentro de la empresa, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2
Productos y/o Servicios




Producto	Características	Imagen
Gaseosas	11 sabores en el mercado Carbonatada Conservantes Presentaciones de: 3 litros 2 litros 1 litro 500 ml 250 ml	
Agua	Sin color Sin sabor Apariencia cristalina Presentaciones de: 20 litros 5 litros 2 litros 600 ml 400 ml	



Fuente. Elaboración propia

1.5.Maquinaria y Equipo

La empresa de Cascada del Sur cuenta con maquinaria suficiente para una producción continua y con procesos semi automáticos, las mismas se pronuncian en la siguiente tabla:

Tabla 3
Maquinaria y Equipo

TRATAMIENTO DE AGUA	NOMBRE	DESCRIPCION	IMAGEN
	Agitador (Reactor)	Es utilizado para contener 80.000 litros de agua que es tratada químicamente, con reactivos	
	Tanque de agua	Con tres tanques con capacidades de 80.000 litros el de mayor capacidad y dos de menor capacidad con 40.000 litros cada uno.	
	Filtro de arena	Son el siguiente paso al tratamiento, en el cual se usa el filtro para limpiar de todas las partículas en suspensión que se encuentren en el agua	
	Filtro de carbón	El agua pasa al filtro de carbón activado, que limpia la misma de todo el cloro que se añadió además de también no dar paso a partículas suspendidas de reactivos	
	NOMBRE	DESCRIPCION	IMAGEN

	Pulidores	Existen 3 en planta, estos son el último paso, de nano filtración utilizan tubos huecos con rejillas de micras que solo dejan el paso al agua sin ningún elemento dañino para el consumo.	
	Bombas (motores eléctricos)	Funcionan la para la extracción de agua de pozo y también para distribuir las cantidades de agua que demanda la empresa en su totalidad	

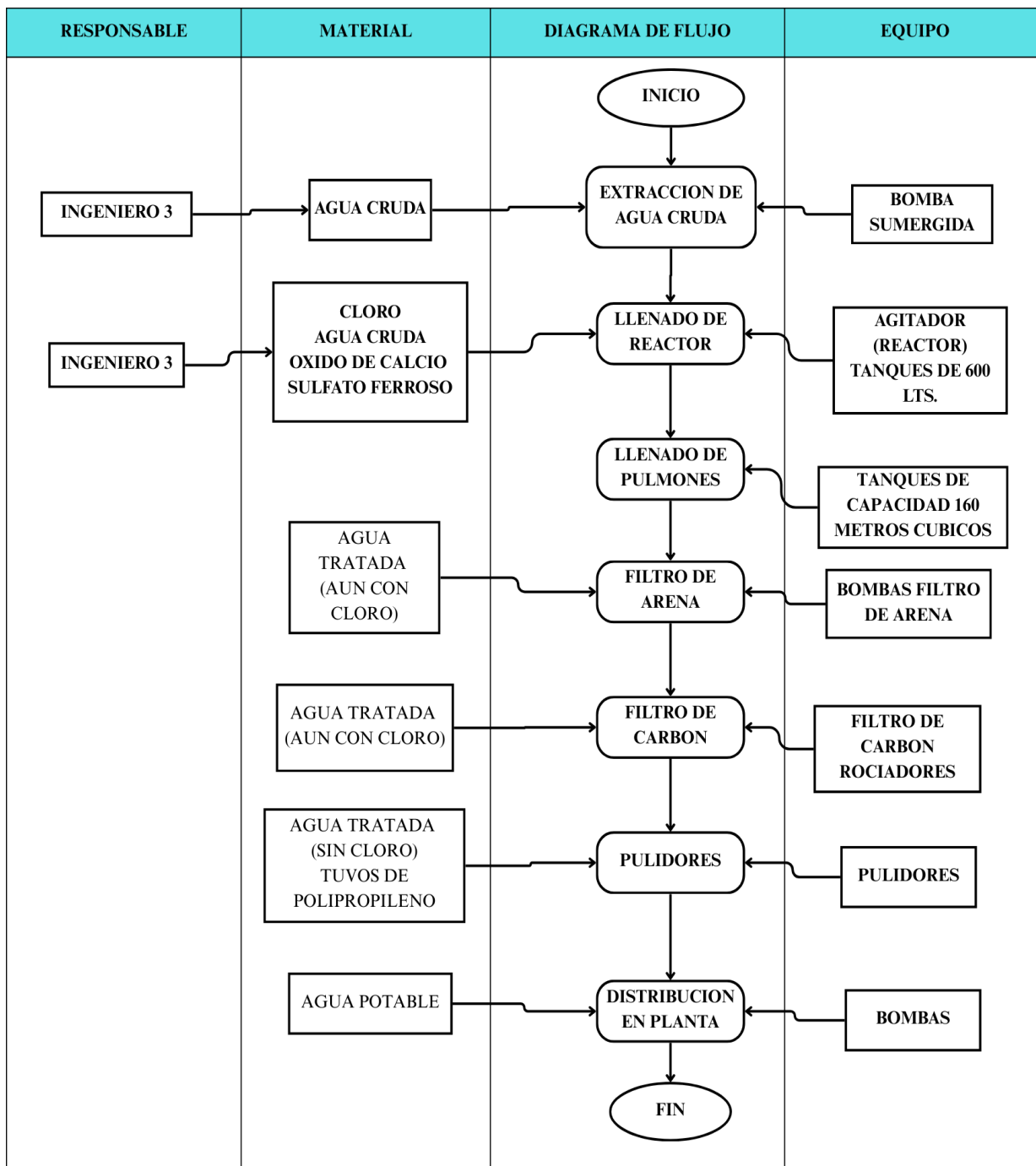
Fuente. Elaboración propia

1.6. Diagrama de flujo del proceso

1.6.1. Diagrama de flujo tratamiento de agua

Figura 3

Diagrama de Flujo del Tratamiento de agua

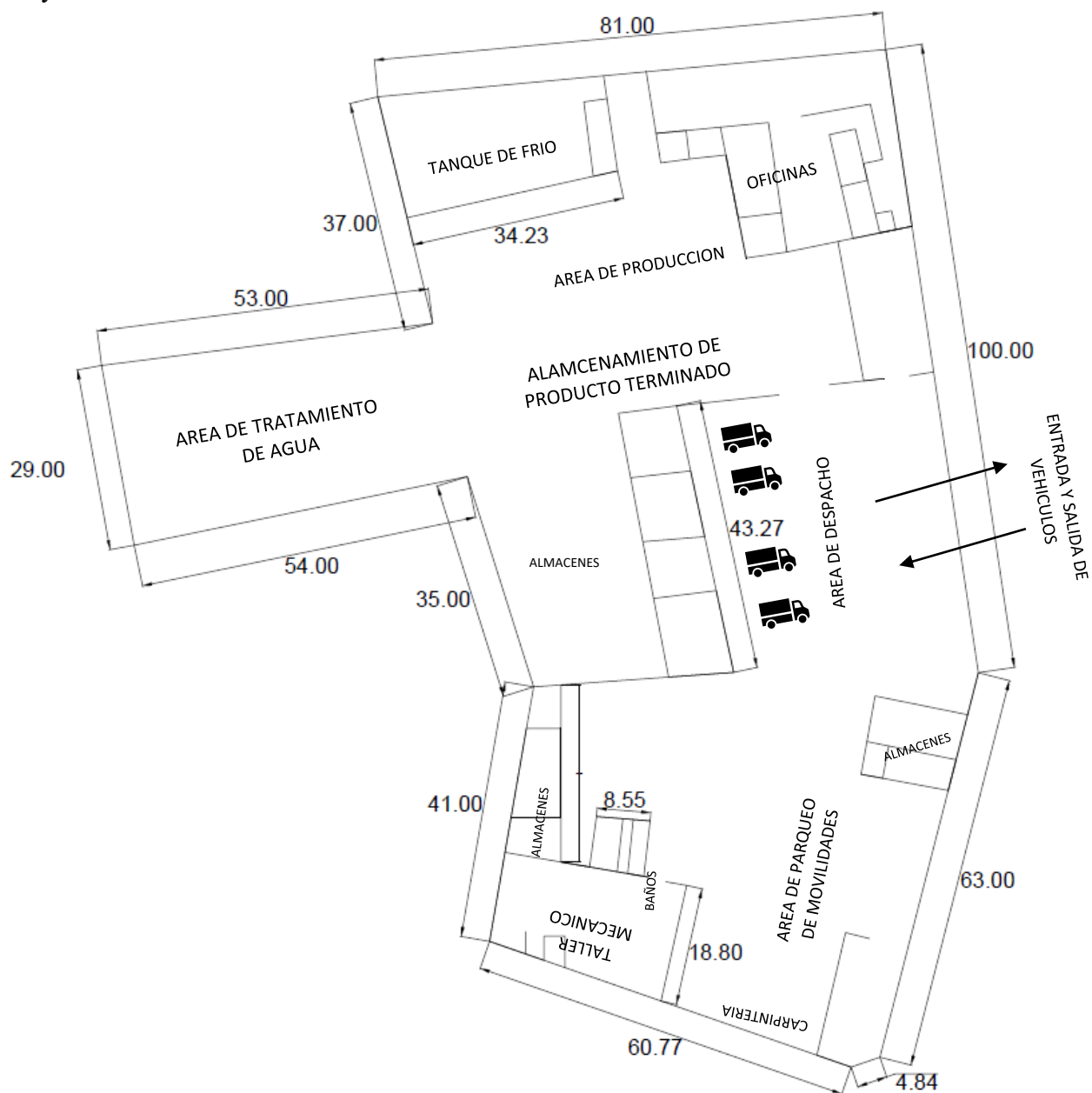


Fuente: Manual de procesos de Cascada del Sur

Elaboración: propia

1.7.Lay Out

Figura 4
Lay Out de Cascada del Sur



	Fecha:	Nombre:	Firma:	CASCADA DEL SUR
Dibujado	15 - 11 - 2024	Diego Agustín Espinoza Rocha		
Escala: 1:100	PLANO ESTRUCTURAL DE CASCADA DEL SUR			NUMERO VERSION: 1

Fuente: Cascada del sur

1.8.Residuos y/o desechos

La empresa CASCADA tiene residuos tanto sólidos y líquidos, los residuos sólidos se componen de plásticos, estos son comprimidos, apilados y almacenados en sectores visibles, los mismos son vendidos a una empresa de reciclaje que se ubica en Santa Cruz que se lleva en su totalidad todos los residuos plásticos que tiene la empresa.

Entre los residuos líquidos se tiene los lodos del tratamiento de agua que son purgados del reactor y son desechados a la alcantarilla, también se tiene agua de pozo que de la misma manera es desechado a la alcantarilla donde ninguno de estos es de peligro ambiental.

CAPITULO 4
DIAGNOSTICO DE
TRATAMIENTO

4. Diagnostico

4.1. Objeto de estudio

Figura 1
Reactor



Fuente: Área de tratamiento de agua

El reactor de 80 m³ tiene como función principal homogenizar el agua y los reactivos mediante agitación constante, con el objetivo de inducir la reacción de floculación. Este proceso químico permite la separación de partículas suspendidas en el agua.

La agitación es generada por un sistema de aspas accionadas por un motor, ubicadas en el interior de una campana de mezcla. Durante la operación, el agua asciende por las paredes del reactor, donde se completa la reacción, para luego ser transferida a los tanques subsiguientes a fin de continuar con el tratamiento químico.

4.2. Características de materia prima

La empresa Cascada del sur con el objetivo de producir un buen producto, requiere de agua de buena calidad, un insumo excepcional para preparación dentro de los procesos de los diferentes productos que realiza.

Con el objetivo de no recurrir a servicios por la cantidad enorme que se requiere dentro de la planta se decidió optar por el tratamiento de agua potabilizada, para esto la materia prima que se extrae de acuíferos previamente seleccionados y con las características siguientes:

Tabla 1
Características de materia prima

Componente	Recomendado (mg/l.)	Expresado como
Acidez		
Alcalinidad	48 – 52	Carbonato de calcio
Arsénico	0,00 - 0,04	Arsénico
Bario	0,8 – 1,2	Bario
Cadmio	0,00 - 0,04	Cadmio
Cloruros	240 - 255	Cloruros
Color	5	Cloro plantinato
Cobre	0	Cobre
Cianuro	0,00 - 0,02	Cianuro
Fluoruro	0,6 - 0,9	Flúor
Dureza	195 - 205	Carbonato de calcio
Hierro	0,1 - 0,3	Hierro
Plomo	0,00 – 0,07	Plomo
Magnesio	125**	Carbonato de calcio
Manganeso	0,00 – 0,07	Manganeso
Mercurio	0	Mercurio
Nitratos	8 - 11	Nitrógeno

Componente	Recomendado (mg/l.)	Expresado como
Substancias orgánicas	1,3 – 1,6	Prueba de oxígeno disuelto por 100 ml
Organismos coliformes		
Sílice	22 - 26	Sílice
Sulfato	240 - 255	Sulfato
Sabor y olor	No Objetables	-
Total, solidos en disolución	495 - 503	Peso
Turbidez	1	NTU
Zinc	1	Zinc

Fuente: Manual de producción Cascada del Sur

La empresa opta por realizar análisis y pruebas a los acuíferos de donde se extrae el agua cruda con características antes mencionadas, todas ellas son de necesidad para que el tratamiento tenga éxito al momento de realizarse, mediante las pruebas se puede tener criterios de si el agua cruda es apta para el tratamiento, siendo así rechazados aquellos acuíferos que no cumplan con ciertos criterios, la realización de análisis de acuíferos tiene efecto cuando se requiera de una nueva fuente de agua cruda.

En la actualidad no se requerirá de una nueva fuente, puesto que el acuífero actual seguirá siendo fuente de la materia prima para la empresa.

4.3. Proceso Productivo













4.3.1. Descripción del proceso productivo

TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA

- **EXTRACCIÓN:**

El proceso comienza con el agua cruda que se encuentra dentro de acuíferos que están debajo del suelo, de los cuales se hace pruebas de si el agua puede ser tratada en planta, el agua que se extrae de un pozo de 250 metros de profundidad con una bomba, es un agua acida que la empresa requiere para empezar el tratamiento, en el momento de extracción se le adiciona cloro que cumple 4 funciones importantes, la desinfección que es matar todos los microorganismos, la limpieza de todos los minerales dentro el fluido, floculación que precipita todos los minerales microscópicos dentro el fluido y por último el control de desarrollo de bio algas.

Figura 2
Cursograma analítico - proceso de extracción

	CURSOGRAMA ANALÍTICO				Hoja 1 de 2						
CURSOGRAMA N° 1				RESUMEN							
DESCRIPCIÓN				Actividad	Actual	Propuesto	Economía				
Objeto: Analizar y representar el flujo del proceso actual de la mate prima				Operación 	3						
				Inspección 	1						
				Transporte 	2						
Proceso: Extraccion de agua cruda				Espera 	0						
Lugar: Cascada del Sur S.A.				Almacenamiento 	0						
Elabora por: Diego Agustin Espinoza Rocha				Método: Propuesto.		Factor: Materia prima (agua cruda).					
				Cantidad: (180 - 360) m3/día		Distancia Total: 311 metros.					
						Tiempo Total: 3.63 horas.					
N°	ACTIVIDAD	Cantidad	Distancia (metros)	Tiempo (horas)	SÍMBOLO					OBSERVACIONES	
											
1	encendido de bomba	1	0.00	0.02							Se realiza mediante tablero de control
2	extraccion de agua cruda	1	250.00	0.02							Se realiza mediante bomba hidraulica
3	muestra de agua cruda	1	1.00	0.15							Toda muestra tomada de manera manual
4	verificacion de cloro	1	20.00	0.14							Se realiza en laboratorio y de manera visual
5	traslado a reactor	1	40.00	0.30							Se transporta mediante los tubos de 4"
6	llenado de reactor	1	0.00	3.00							Severifica el limite del reactor para llenado
Sub total		6	311.00	3.63	3	1	2	0	0		

Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento

Elaboración propia

El cursograma analítico muestra una distancia de 311 metros de distancia que recorre el agua cruda y un tiempo total de 3,63 horas en que se realiza todo este proceso.

El añadido de cloro que se verifica se realiza a tiempo de un 1 kilogramo por día, esto lo realiza el encargado si lo requiere el tratamiento, ya que el cloro que se añade en el pozo se

mantiene en un rango de 0,5 a 2,5 de coloración en pruebas con ortodidilina, un compuesto que muestra la presencia de cloro en agua de manera visual, modificando el color del agua a amarillo, esto según presencia de cloro, el tono amarillo del agua varía entre tonalidad, siendo este el método para determinar el nivel de cloro en el agua, puede que la verificación tome tiempo para su determinación.



*Fuente: Datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

El balance masico muestra que no existen pérdidas en este proceso, sino un añadido leve de volumen que se debe al cloro por parte de su proceso de limpieza, dejando así un total de 80 m³ de entrada al reactor antes de su tratamiento completo.

Esto se debe a que todo el traslado del agua cruda se realiza mediante la tubería, y presión que genera la bomba hidráulica.

Los equipos utilizados no tienen deficiencias, gracias a su mantenimiento y el uso que se les da, dando un 73% de rendimiento y no generan pausas a la hora de su funcionamiento.

Tabla 2
Rendimiento de extracción

Nombre	% de rendimiento	Observación
Bomba hidráulica	70 %	La misma no presenta fallas por el uso, gracias a su mantenimiento.
Tablero de control	80%	No existen fallos eléctricos o exigencias de energía eléctrica por parte de los equipos.
Tubería de transporte	70%	No se presentan fugas
%promedio total de proceso	73%	Que indica el rendimiento de todo el proceso

Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento

Elaboración propia

- **LLENADO DE REACTOR:**

El agua cruda que se extrae de un pozo previamente añadido de cloro, se transporta por tubería de 4 pulgadas hacia el reactor (agitador), en el mismo se añaden los reactivos como el sulfato ferroso e hipoclorito de sodio (CAL), una vez dentro ocurre una reacción REDOX, con el fin de generar una floculación de sales que son dañinas para el ser humano, este proceso de floculación sucede dentro del reactor (agitador), cuando sucede esta reacción se forman partículas más densas que contienen los minerales y que se precipitan por gravedad formando lodos en la base del reactor.

Figura 4
Cursograma analítico - Reactor (agitador)

CASCADA		CURSOGRAMA ANALÍTICO				Hoja 1 de 1				
CURSOGRAMA N° 1		RESUMEN								
DESCRIPCIÓN		Actividad			Actual	Propuesto	Economía			
Objeto: Analizar y representar el flujo del proceso actual del Reactor		Operación	●	4						
		Inspección	■	2						
		Transporte	→	1						
Proceso: Tratamiento químico		Método: Propuesto.	Espera	●	1					
Lugar: Cascada del Sur S.A.		Factor: Agua tratada.	Almacenamiento	▼	1					
Elabora por: Diego Agustín Espinoza Rocha		Cantidad: 80 m ³ /día	Distancia Total: 51 metros.			Tiempo Total: 052 horas.				
N°	ACTIVIDAD	Cantidad	Distancia (metros)	Tiempo (horas)	SÍMBOLO					OBSERVACIONES
					●	■	→	●	▼	
1	apertura de llave	1	0.00	0.02	●					Se realiza mediante tablero de control
2	entrada de agua cruda	1	0.00	0.02	●					Se realiza mediante tubería de 4"
3	entrada de reactivos	1	2.00	0.02	●					Se abre las llaves manuales de dosificadores
4	encendido de agitador	1	7.00	0.01	●					Se realiza mediante tablero de control
5	toma de muestra	1	2.00	0.10	●					Se toman muestras de 0,6 litros
6	verificación de laboratorio	1	30.00	0.20	●					Se realiza pruebas de control
7	espera de resultados	1	0.00	0.05				●		Se realiza una verificación y se anota en planilla
8	paso a pulmones de contención	3	10.00	0.10				→		Se el agua es transportada a los pulmones
9	almacenamiento antes de filtros	3	0.00	0.00					▼	Se almacena el agua tratada, hasta que sea requerida en planta
Sub total		13	51.00	0.52	4	2	1	1	1	

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

El cursograma nos muestra un total de 51 metros de distancia y un tiempo total de 0,52 horas para realizar el tratamiento del reactor.

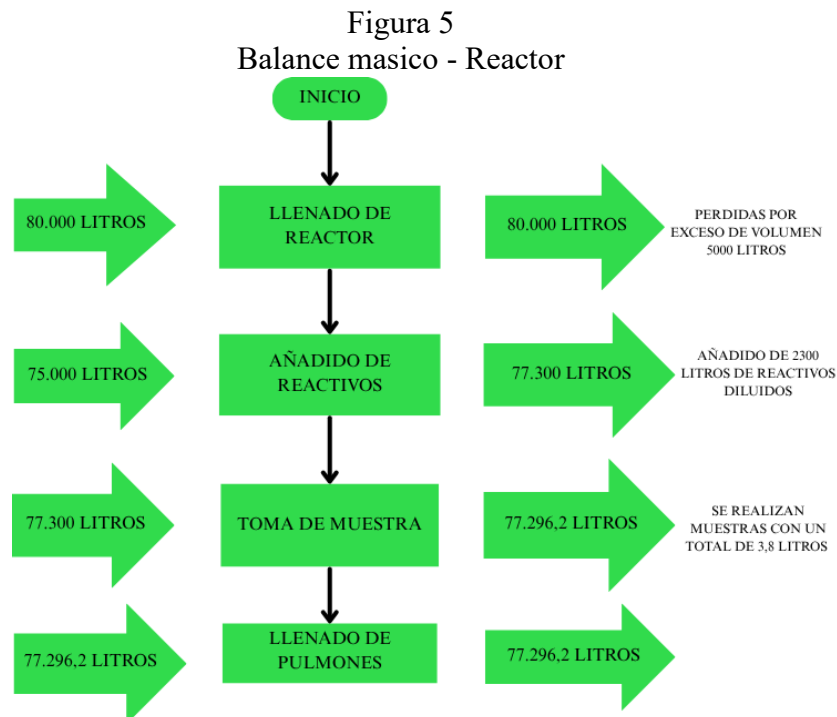
El proceso que se lleva a cabo dentro del reactor es físico – químico por las características que se manejan en su interior, el volumen de 80 metros cúbicos que están dentro del reactor se le añaden de 1500 a 1700 litros de cal diluida y de 530 a 600 litros de sulfato ferroso, que actualmente es lo que se utiliza para el tratamiento del agua cruda realizando la floculación de manera continua, esta reacción de floculación tiene por duración de 30 a 40 minutos para ser eficaz, pero la demanda que la planta de producción pide no da el tiempo suficiente para que la floculación termine su función, con lo cual se determinó el implementar los 3 tanques que sirven de ayuda al reactor para mantener más volumen de agua y de terminar la reacción de floculación.

A parte de todo el proceso se tiene un manejo del mismo que no llega a ser de altura por lo siguiente:

Tabla 3
Fallos del proceso de Reactor

Fallos	Nombre	Observación
Exceso de volumen en reactor	Rebasamiento de nivel	Esto lleva a perdidas de agua tratada valiosa para la producción que es desperdiciada
Exceso de reactivos en reactor	Sobresaturación	Conlleva a que el agua tratada salga mas afectada
Apertura y cerrado de llave manual	Válvula de cierre manual	La cambiante presión de la bomba, lleva a que el operador habrá o cierre la llave de manera continua para regular el caudal.
Indicadores de alertas no implantados	Inexistencia de indicadores	No se puede tener conocimiento de los niveles del reactor o dosificadores.

Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia



Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia

El balance masico muestra una pérdida de 2.703,8 litros por cada lote de agua cruda, esta pérdida no tan significativa puede variar dependiendo el exceso del reactor que no es correctamente supervisado por el operador.

El proceso de reactor contiene el tanque de 80 m³, tablero de control, bomba hidráulica, dosificadores y tuberías de 4 pulgadas, todos con un rendimiento siguiente.

Tabla 4
Rendimiento de Reactor

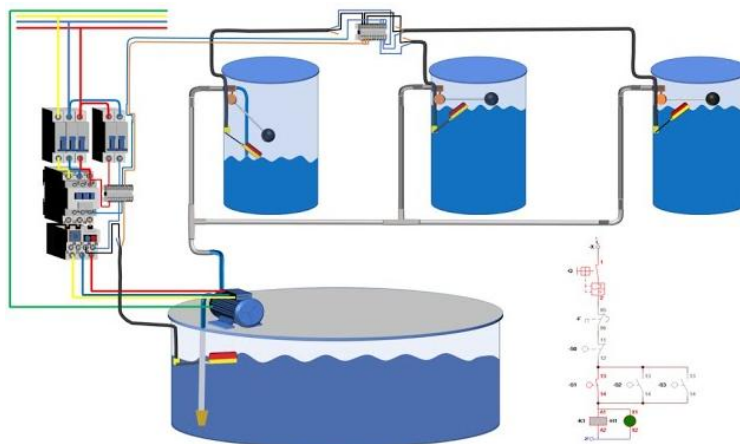
Nombre	% de rendimiento	Observación
Tanque reactor	70 %	El tanque no presenta fugas o aberturas.
Tablero de control	80%	No existen fallos eléctricos o exigencias de energía eléctrica por parte de los equipos.
Bomba hidráulica	60 %	Siendo que la misma tiene más de 5 años de uso en la planta
Dosificadores	60%	Ambos tienen más de 7 años de uso, no presentan fugas o aberturas, pero si se denota el deterioro de ambos por los reactivos.
Tuberías	70%	No se ven fugas ni deterioro, pero sí estuvieron más de 7 años en uso
%promedio total de proceso	68%	Que indica el rendimiento de todo el proceso

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

- LLENADO DE PULMONES:

El proceso de floculación dentro el reactor no termina su cometido, por razones de que la empresa requiere el agua para producción, para eso se pasa el agua a tres tanques donde terminan de reaccionar, y la precipitación continua en cada uno de ellos, y cada cierto tiempo son purgados para dejar limpios los pulmones.

Figura 6
REPRESENTACION DE LLENADO POR BOMBA DE TANQUES



Elaboración: Oviedo Automatiza

Figura 7
cursograma analítico - llenado de tanques

CURSOGRAMA ANALÍTICO					RESUMEN			Hoja 1 de 1		
CURSOGRAMA N° 1					Actividad	Actual	Propuesto	Economía		
DESCRIPCIÓN										
Objeto: Analizar y representar el flujo del proceso actual de los tanques de almacenamiento					Operación	5				
					Inspección	0				
					Transporte	3				
Proceso: Tratamiento químico					Espera	1				
Método: Propuesto.					Almacenamiento	0				
Lugar: Cascada del Sur S.A.					Factor: Agua tratada.					
Elabora por: Diego Agustín Espinoza Rocha					Cantidad: (180 - 360) m ³ /día					
					Distancia Total: 51 metros.		Tiempo Total: 052 horas.			
N°	ACTIVIDAD	Cantidad	Distancia (metros)	Tiempo (horas)	SÍMBOLO					OBSERVACIONES
					●	■	→	●	▼	
1	apertura de llave	1	0.00	0.02						El paso es libre y no se cuenta con una apertura manual
2	entrada de agua tratada	1	0.00	0.00						Las entradas de cada tanque son distintas por tanto pueden variar
3	paso por manguera	1	2.00	0.02						Se realiza mediante manguera puesta por el operario a cargo
4	llenado de tanque 1 de 60 m ³	1	0.00	2.25						El primer tanque se llena con manguera de forma manual por el operario
5	paso por tubería	1	6.00	0.02						Se realiza mediante tubería de 2"
6	llenado de tanque 2 de 40 m ³	1	0.00	1.50						El mismo es llenado por una tubería suspendida a 2 metros de altura
7	paso por tubería	1	8.00	0.02						Se realiza mediante tubería de 4"
8	llenado de tanque 3 de 80 m ³	1	0.00	3.00						El paso de agua no tiene llave, es una entrada libre adherida al mismo tanque
9	espera antes de paso a filtros	1	0.00	0.00						La espera en los tanques es depende la demanda en planta que la producción requiera
Sub total		9	16.00	6.83	5	0	3	1	0	

Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia

El cursograma presenta 16 metros de distancia que recorre el agua, y un total de 6, 83 horas de operación antes del paso a filtros.

El llenado de cada tanque es distinto como se ve en el siguiente cuadro:

Tabla 5
Observaciones y contenidos de Tanques

Nombre	% de agua contenida	Observación
Tanque 1	33,33 %	El tanque es llenado mediante manguera, la cual se coloca de manera manual, esto tiene que ser supervisado puesto que puede excederse llegando a desperdiciar agua tratada.
Tanque 2	22,22 %	El llenado del mismo es mediante tubería suspendida y también manguera que se añade de manera manual siendo de mayor supervisión porque se puede exceder los límites y derrochar agua tratada.
Tanque 3	44,44 %	El tanque 3 es llenado por abertura en la parte superior del mismo no cuenta con llave el paso es libre del agua y aunque sea el de mayor volumen sus excesos pueden derrochar mayor cantidad de agua que los anteriores
%Total de agua	100 %	El porcentaje se debe a los 180 m ³ que se toman de los tres tanques en conjunto

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Tabla 6
Rendimiento de tanques

Nombre	% de rendimiento	Observación
Tanque 1	60 %	El tanque presenta aberturas en la parte superior, presenta leve deterioro y una capa fina de oxido.
Tanque 2	50 %	El tanque presenta aberturas en la parte superior por la cual surge una fuga de agua antes de llegar a su nivel máximo de llenado, su estructura presenta deformación, capa media de sarro por contención de agua.
Tanque 3	80 %	El tanque no presenta aberturas, y solo presenta una leve capa por el sarro de la contención del agua
Tuberías	70 %	No se ven fugas ni deterioro, pero sí estuvieron más de 7 años en uso
%promedio total de proceso	65%	Que indica el rendimiento de todos los tanques

Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento

Elaboración propia

Los tanques presentan un 65% de rendimiento actualmente.

Tabla 7
Perdidas de agua tratada en los tanques

Nombre	Perdidas en litros	# de veces por semana
Tanque 1	5.000	1
Tanque 2	6.000	4
Tanque 3	4.000	2
Sub Total	15.000	7
Total, en el mes	60 m ³	28

Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento

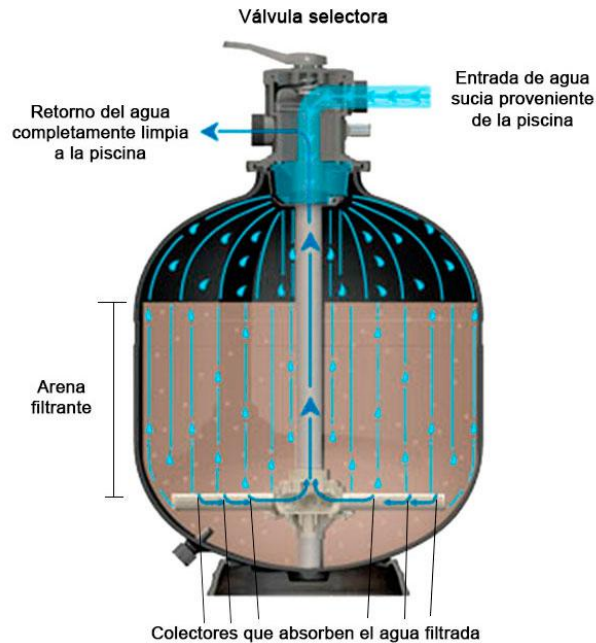
Elaboración propia

Las pérdidas que existen en los tanques de almacenamiento pueden llegar a suceder de 3 a 7 por semana, lo que implica una pérdida de 15.000 litros a la semana, en un mes podría llegar a los 60.000 litros.

- FILTRO DE ARENA:

El agua que se encuentra en los tanques se transporta a los filtros de arena, este funciona con capas de arena en la parte superior arena fina y consecuentemente arena más gruesa y para terminar grava en la parte inferior, este filtro no deja que el hipoclorito de sodio (CAL) pase o cualquier partícula suspendida en el agua que contenga, llegando a formar una capa en la parte superior del filtro.

Figura 8
Representación de filtro de arena



Fuente: Tania

Tabla 8
Porcentaje de filtración - filtros de arena

Nombre	% de agua de filtración	Observación
Filtro 1	55%	El filtro es de mayor tamaño a los demás siendo que su capacidad de filtraje es mucho mayor, por lo cual cada muestreo se pierde mayor cantidad de agua.
Filtro 2	22,50 %	El filtro 2 no tiene el tamaño del primero, pero si cumple su función a lado del filtro 3, ambos tienen la capacidad del filtro 1.
Filtro 3	22,50 %	El filtro 3 no tiene el tamaño del primero, pero si cumple su función a lado del filtro 2, ambos tienen la capacidad del filtro 1.
%Total de agua	100 %	La total muestra que los 3 funcionan de manera que no exista pausas a la hora de un retro lavado o inconsistencias

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Tabla 9
Perdidas por muestra de filtros de arena

Nombre	Perdidas en litros por muestra	# de veces por semana	Total (litros)
Filtro 1	70	42	2.940
Filtro 2	50	42	2.100
Filtro 3	50	42	2.100
Sub Total	170	126	7.140
Total, en el mes			28.560

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Todo el rendimiento de los filtros de arena es del 80%, aunque sea rendimiento bueno existen fugas de agua en el filtro 1 que se debe a una mala soldadura y mostrando un derroche de mismo.

- **FILTRO DE CARBÓN:**

El filtro de carbón tiene la misma composición del filtro de arena en cuanto a sus capas, en este caso el carbón activado consume o elimina todo el cloro que contenga el agua.

Figura 9
Representación de filtro de carbón



Fuente: Rakesh Bhutiani

Tabla 10
Porcentaje de filtración

Nombre	% de agua de filtración	Observación
Filtro 1	55%	El filtro es de mayor tamaño a los demás siendo que su capacidad de filtraje es mucho mayor, por lo cual cada muestreo se pierde mayor cantidad de agua.
Filtro 2	22,50 %	El filtro 2 no tiene el tamaño del primero, pero si cumple su función a lado del filtro 3, ambos tienen la capacidad del filtro 1.
Filtro 3	22,50 %	El filtro 3 no tiene el tamaño del primero, pero si cumple su función a lado del filtro 2, ambos tienen la capacidad del filtro 1.
%Total de agua	100 %	La total muestra que los 3 funcionan de manera que no exista pausas a la hora de un retro lavado o inconsistencias

Fuente: *datos obtenidos del área de tratamiento*

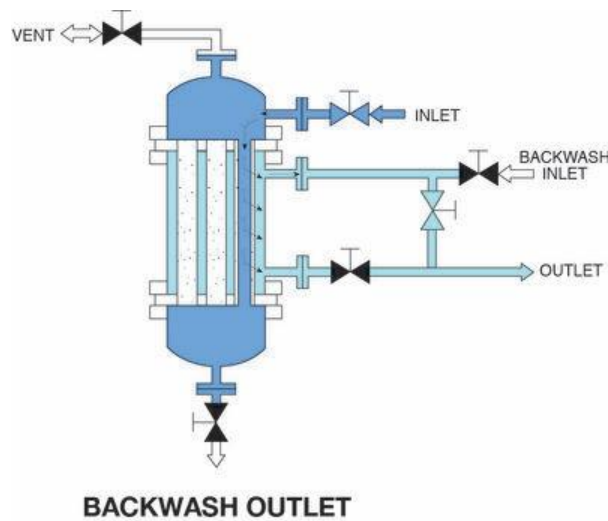
Elaboración propia

Todo el rendimiento de los filtros de carbón es del 90%, no existen fugas o derroche puesto que no existen toma de muestras del filtro de carbón que sean regulares, solo existe un tipo de muestra que se realiza una vez cada mes que no representa derroche para el filtro.

- PULIDORES:

En este punto el agua pasa por una nano filtración que sucede dentro los pulidores que son tubos huecos de polipropileno que son los que retienen en sus interiores las partículas restantes que todo el proceso anterior no pudo teniendo al terminar el agua trata y consumible.

Figura 10
Representación de pulidores



Fuente: Kenneth Rubow

El rendimiento del equipo para los pulidores es del 65%, puesto que uno de ellos presenta fuga por mal soldadura, los siguientes se encuentran en buen estado y sin factores de daño.

- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA:

Como último paso el agua tratada es distribuida para las diferentes tareas dentro del área de producción tanto para limpieza como el uso dentro de otros productos de la misma.

Tabla 11
Rendimiento de todos los equipos de tratamiento

Nombre	% de rendimiento
Extracción	73%
Reactor	68 %
Tanques de agua tratada	65 %
Filtros de arena	80%
Filtros de carbón	90%
Pulidores	65%
%promedio total de tratamiento	73,5%

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Tabla 12
Perdida de agua en todos los procesos

Nombre	Perdidas en litros de los procesos
Extracción	0 litros
Reactor	2.703,8 litros
Tanques de agua tratada	60.000 litros
Filtros de arena	28.560 litros
Filtros de carbón	0 litros
Pulidores	0 litros
Total, en el mes	91.263,8 litros

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Los cuadros anteriores muestran una significativa pérdida de agua que los procesos deberían de evitar, y aunque el rendimiento promedio de todo el tratamiento sea de 73,5% y siendo bueno no muestra del todo una satisfacción por la existencia de fugas o deterioro.

Como análisis final, los datos recabados y la demostración de las herramientas evidencian que las pérdidas de agua en diversos procesos son significativas para la empresa, considerando que esta materia prima es esencial para la elaboración de los productos. Asimismo, se constata la necesidad de implementar una solución que permita reducir o eliminar dichas pérdidas.

4.4. Parámetros de calidad del agua

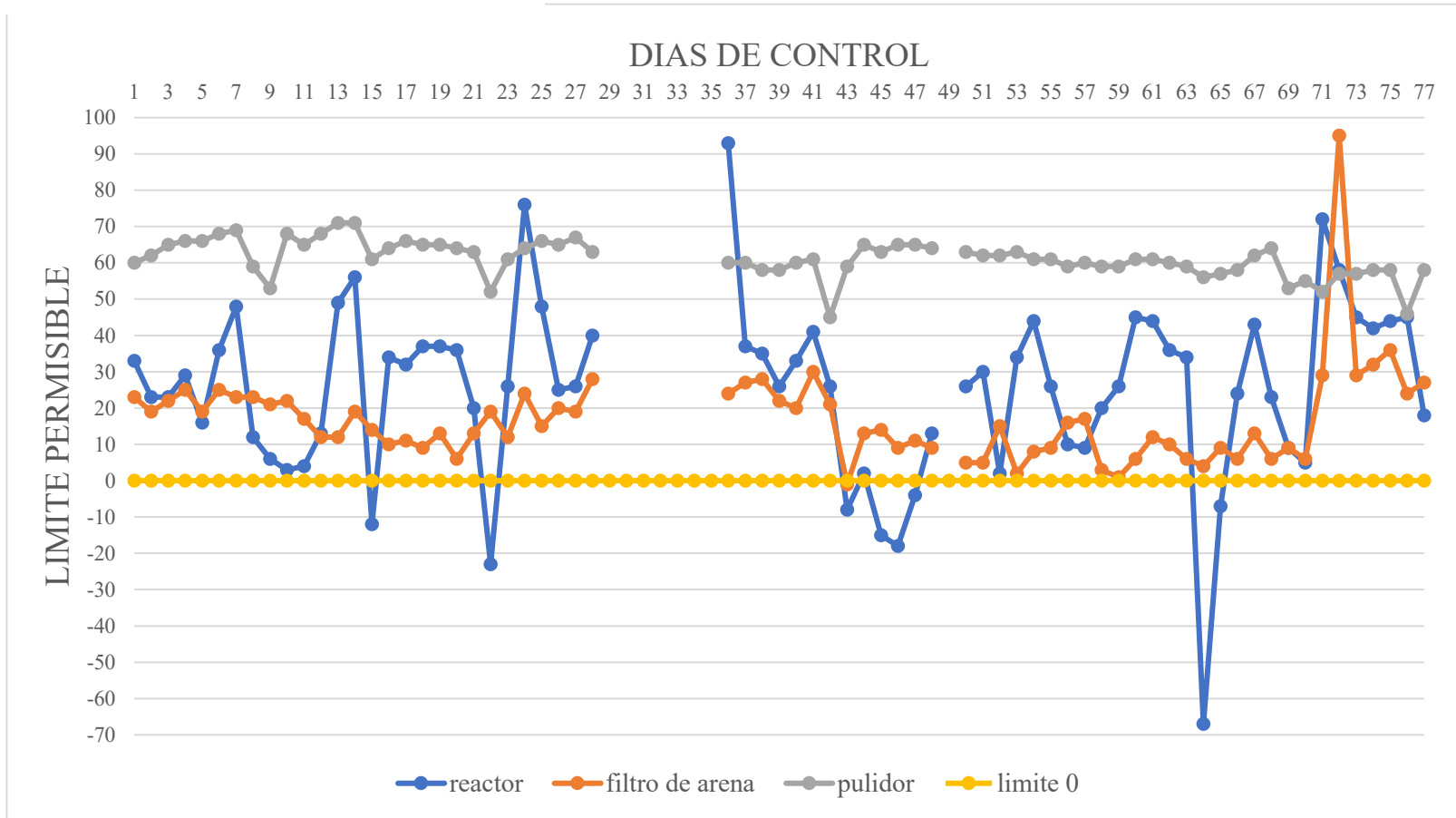
Para el tratamiento de agua que se realiza, el agua tiene ciertos parámetros, así como también límites permisibles que son:

Tabla 13
Parámetros de calidad

ITEMS	LIMITE PERMISIBLE	UNIDAD
Apariencia	Clara	-
Sabor	Ninguno	-
Olor	Ninguno	-
Turbidez	1.0	Ppm como SiO ₂
Color	5.0	Ppm como platino cobalto
Materia orgánica	Ninguna	-
Alcalinidad total	50	Ppm como CO ₃ Ca
Cloruros	250	Ppm como Cl
Sulfatos	250	Ppm como SO ₄
Nitratos	25	Ppm como NO ₃
Fluoruros	5	Ppm como F
Hierro	1.0	Ppm como Fe
Manganeso	0.05	Ppm como Mn
Zinc	5.0	Ppm como Zn
Cobre	0.05	Ppm como Cu
Cloro libre residual	0	Ppm como Cl O
Sólidos totales	500	Ppm

Fuente: Manual de Producción de Cascada del Sur

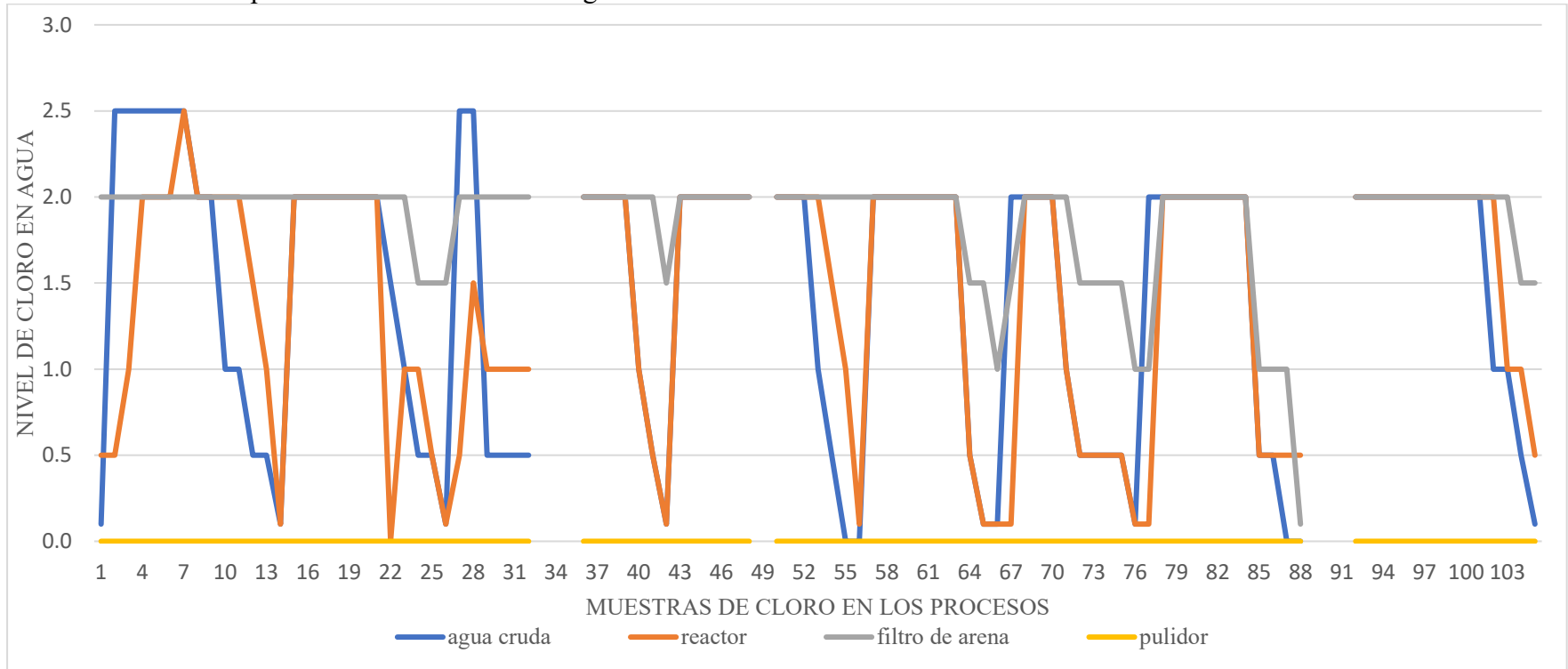
Figura 11
Control de calidad interno de Cascada del Sur



El grafico muestra la inconsistencia que existe para los procesos a la hora de tomar muestras, se visualiza que los limites permisibles son rebasados, cuando lo ideal es no rebasar el rango de 0 a 50.

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Figura 12
Nivel de cloro en los procesos del tratamiento de agua



El resultado de cada proceso a la hora de controlar el nivel de cloro muestra inconsistencias en los mismos, no llega a lo ideal donde el rango de cloro debe de mantenerse entre 1.0 – 2.3 que son límites para considerar el tratamiento exitoso, el proceso de pulido se abstiene de contener cloro y su nivel debe ser 0.

*Fuente: datos obtenidos del área de tratamiento
Elaboración propia*

Como se visualiza en el grafico anterior el control que se realiza dentro de planta siendo de manera manual, no es bueno, en cuanto las muestras que se toma tanto del reactor y filtro, los limites permisibles son excedidos y no muestran una mejora por más que se tenga alguien fijo en observación, hacerlo de manera manual este registro de control toma su tiempo de 20 a 30 minutos por muestra, es el mismo tiempo en que se tiene un cambio dentro el reactor tanto con la presión la entrada de agua y los reactivos, las partes que se denotan en blanco son días u horas que el control no fue tomado, pasando por alto el control el día.

4.5. Estructura interna del reactor

Como parte fundamental de la metodología de implementación, se elabora un diagrama de flujo detallado que modela la secuencia operativa del proceso automatizado. Esta representación gráfica describe las etapas interconectadas del sistema, especificando los parámetros de control y la interacción entre componentes, con una capacidad nominal de tratamiento establecida en 80 metros cúbicos (80 m^3) de agua cruda por ciclo productivo completo.

Figura 14
Estructura interna del reactor



Figura 13
Campana interna del reactor



Fuente: Área de tratamiento Cascada del sur

Figura 16
Reactor vista externa



Figura 15
Bombas de tanques contenedores



Fuente: Área de tratamiento Cascada del sur

Como el tratamiento es el recurso de necesidad para la empresa, nos fijamos en cada proceso, para después ver lo que se necesitaría mejorar, en este se tiene el reactor (agitador).

El equipo reactor, con capacidad nominal de 80 m³, incorpora un sistema de agitación mediante aspas para homogenización del contenido, una campana de distribución interna y conexiones superiores para la alimentación de reactivos.

La operación actual presenta una significativa dependencia de mano de obra, especialmente en las fases de dosificación química y control del proceso. El inicio del llenado del reactor está sujeto a la activación manual de las bombas por parte del operador, quien además realiza la adición directa de los reactivos, configurando así un proceso con predominancia de operaciones manuales.

Viendo lo que sucede en este proceso los puntos que se requiere la mejora son:

Tabla 14
Puntos de mejora dentro el proceso

ITEM	INTENSIDAD CRITICA	ACTIVIDAD
LLENADO DE TANQUES	BAJA	SEMI MANUAL
AGREGADO DE REACTIVOS	ALTA	SEMI MANUAL
TOMA DE MUESTRAS	MEDIA	MANUAL
LLENADO DE FORMULARIO	BAJA	MANUAL

Fuente: Elaboración propia

Como se describe en el anterior punto el añadido de cloro se puede mejorar colocando un dosificador de cloro de pastillas que asegure el nivel que se requiere, el equipo que se necesita estará sujeto a la entrada del reactor.

4.6. Identificación de pérdidas y residuos

4.6.1 Perdidas

Visto en la (*figura 5, diagrama de flujo tratamiento de agua*), las pérdidas de agua son significantes para el tratamiento puesto que la misma es esencial para la producción, por diferentes motivos las perdidas seguirán existiendo o empeorando con el tiempo.

4.6.2. Residuos

El reactor, siendo este uno de los que realiza la reacción de químicos, tiene la mayor generación de residuos por tanto este tiene válvulas de purga que ayudan a la liberación del lodo que se genera por la reacción de floculación, estos residuos generados por el reactor no son de peligro ambiental, ya que los mismos cumplen y están por debajo de los límites permisibles.

4.7. Infraestructura actual antigüedad y estado de los equipos

Actualmente los equipos llevan en funcionamiento más de 20 años, las bombas, controladores, tanques de llenado, filtros y purificadores, el reactor igualmente lleva funcionando la misma cantidad de años.

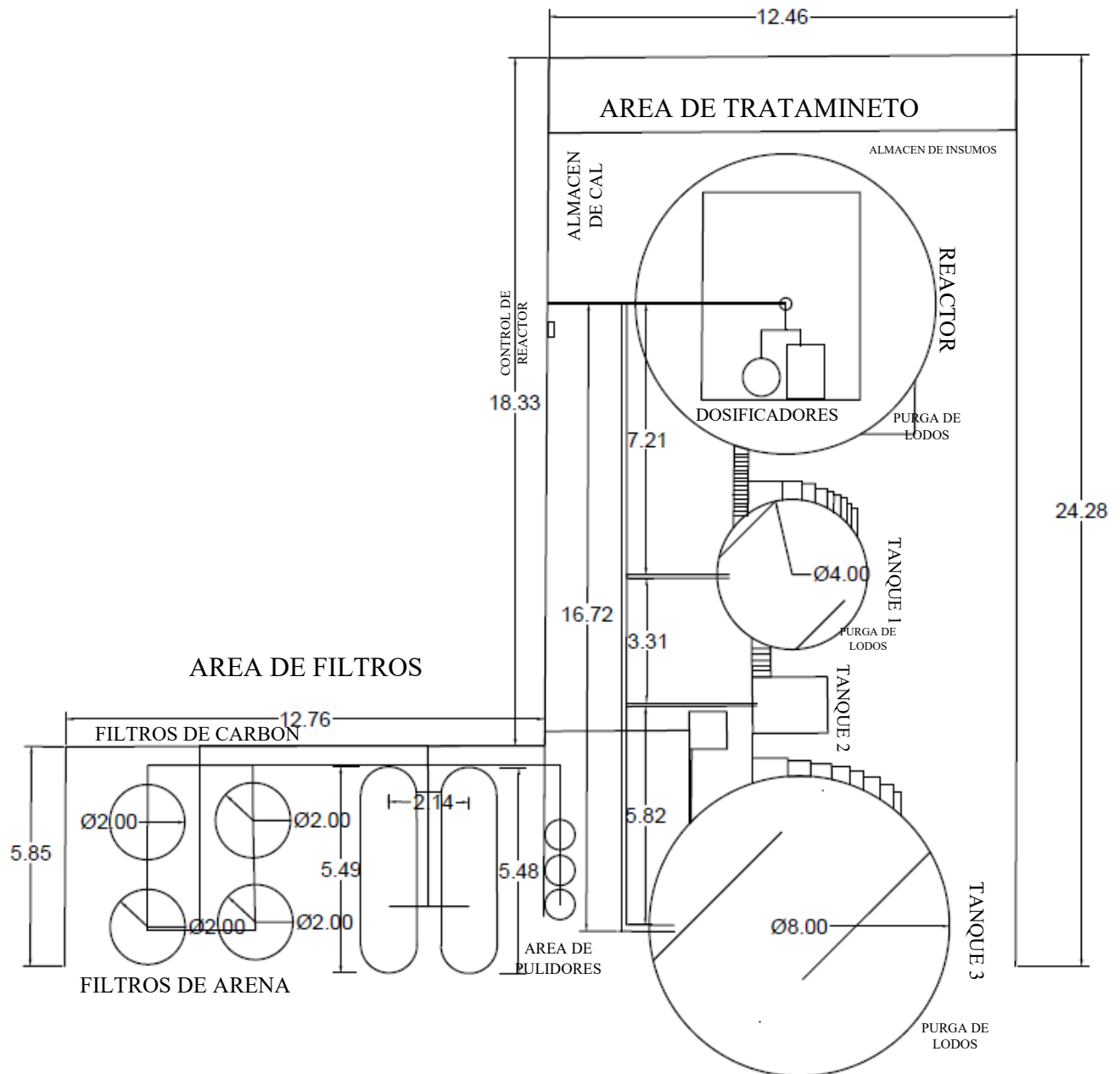
El reactor se encuentra en la parte más elevada de la empresa, seguido del mismo se tienen los 3 tanques que llenan con agua tratada en la parte izquierda se encuentran los purificadores, separados por una pared se encuentran los filtro que en total son 6, 3 de arena y los demás de carbón activado.

Por otra parte, el funcionamiento de los mismos no se ve afectado por el tiempo, ya que todos ellos se encuentran funcionando eficientemente, sin paradas o que se requiera mantenimiento.

El motivo se debe a que el mismo se realiza periódicamente, contando con personal calificado para su arreglo.

4.8. Lay out

Figura 17
LAY OUT área de tratamiento de agua

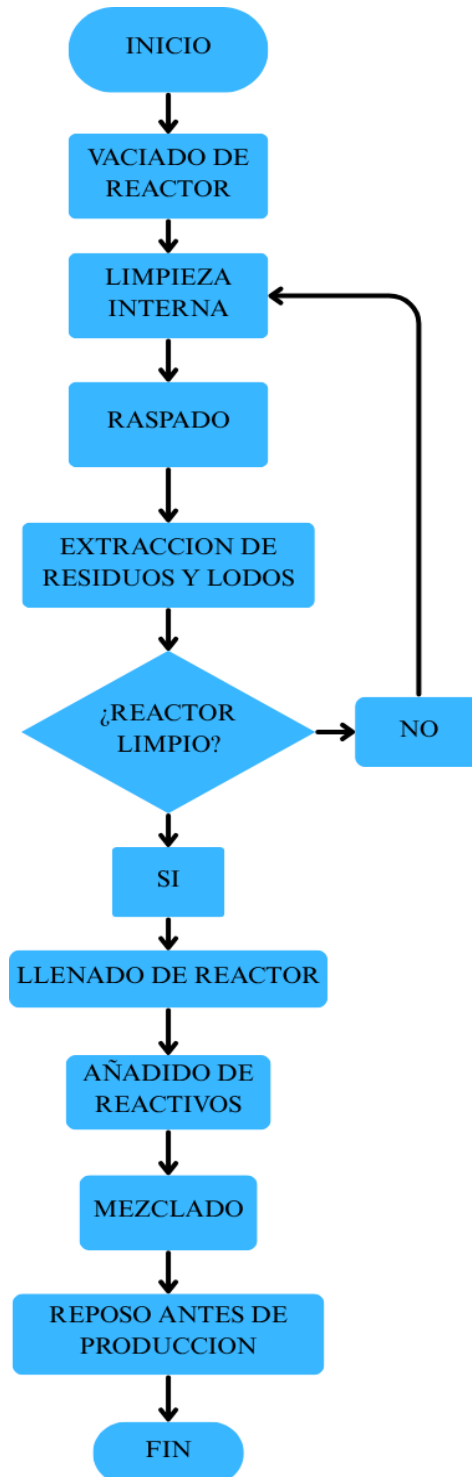


	Fecha:	Nombre:	Firma:	CASCADA DEL SUR
Dibujado	28 - 06 - 2025	Diego Agustín Espinoza Rocha		
Escala: 1:100	PROPUESTA DE AUTOMATIZACION Y MONITOREO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, EN LA EMPRESA CASCADA DEL SUR S.A.			NUMERO VERSION: 0

Fuente: Área de tratamiento Cascada del sur

4.9. Mantenimiento actual

Figura 18
diagrama de flujo del mantenimiento actual del reactor



Fuente: Elaboración propia

4.9.1. Descripción de mantenimiento

El mantenimiento del reactor se realiza los fines de semana programados cada 3 meses, por tanto, se realiza en 2 partes, la primera se realiza el día sábado después de haber acabado la jornada laboral, dando comienzo con el vaciado del agua que ayudara sacando una parte de los lodos contenidos, el vaciado dura entre 1 y 2 horas, entonces se requiere de 3 a 4 obreros y el ingeniero encargado, los obreros se encargaran se limpiar todo el restante del lodo que no salió en la purga inicial, toda la limpieza realiza en 1 hora por arte de los obreros, después de que se verifica la limpieza del reactor completamente, se pasa a la segunda fase que se realiza en la misma jornada o directamente al día siguiente, de esta fase ya solo se encarga el jefe de producción de agua, que se basa en llenar por completo el reactor de agua está ya contiene cloro, y se realiza el añadido de los reactivos esta fase solo incluye el llenado y añadido de reactivos, pero no así el paso de agua tratada hacia los demás tanques, pues en esta fase el uso de cal es el mayor para no tener un mejor tratamiento inicial después de que el tanque haya sido limpiado, el uso de cal en este caso es de 30 kilos diluidos, el ingeniero a cargo vela por los indicadores visuales que se tiene, tanto como el color y el blanqueado que sucede cuando se aplica en demasía el cal, esto dura entre 3 a 4 horas por la cantidad de cal aplicada en su inicio.

CAPITULO 5
IDENTIFICACION,
EVALUACION Y
SELECCIÓN DE
ALTERNATIVAS

5. Identificación, evaluación y selección de alternativas

5.1. Objetivos de tratamiento

El punto de este tratamiento es tener agua como insumo, para abastecer tanto la producción de gaseosas, así como la producción de agua purificada, por esto es necesario saber que el tratamiento tiene por objetivo limpiar, desinfectar y retirar partículas suspendidas, dando como resultado un líquido que este sujeto a lo que se requiere, con PH controlado que se busca en este proceso.

5.2. Características de calidad

Se puede ver que la calidad que debe tener el agua cuando finaliza la etapa de filtración, que deja el mismo sin objeciones de que dañe o altere el producto que se llegue a elaborar, en el siguiente cuadro se muestra las características que se logran después del tratamiento.

Tabla 1
Características del reactor

ITEM	PARAMETROS LIMITES	INDICADOR
PH	ENTRE 9 – 10	Límites entre 0 – 50
CLORO	2 – 3 SIN EXCEPCION	Ortotolidina
COLOR	Blanquecino	Revisión visual
PARTICULAS	Con existencia	Revisión visual

Fuente: Elaboración propia en base a manual procesos

Tabla 2
Características del filtro de arena

ITEM	PARAMETROS LIMITES	INDICADOR
PH	ENTRE 8 – 8,9	Límites entre 0 – 50
COLORO	2 – 3 SIN EXCEPCION	Ortotolidina
COLOR	Cristalino	Revisión visual
PARTICULAS	Existencia mínima	Revisión visual

Fuente: Elaboración propia en base a manual procesos

Tabla 3
Características del filtro purificador

ITEM	PARAMETROS LIMITES	INDICADOR
PH	ENTRE 7,5 – 8	Límites entre 0 – 50
COLORO	0 SIN EXCEPCION	Ortotolidina
COLOR	SIN COLOR	Revisión visual
PARTICULAS	SIN EXISTENCIA	Revisión visual
SABOR	Sin sabor	Sentido del gusto

Fuente: Elaboración propia en base a manual procesos

El sentido de todo esto es controlar al máximo los parámetros de calidad impuestos por la empresa, es necesario tener la verificación de todo esto a la hora de tomar muestras y partir de ser precisos a la hora de llevar todo esto a la hoja de registro de calidad para que no se vea inconsistencias, o encontrar con que el agua que se está tratando se vea afectado por un mal manejo de reactor.

5.3. Análisis de puntos críticos

El objetivo del tratamiento es garantizar la consistencia operativa y evitar desviaciones o defectos durante su ejecución. El análisis de puntos críticos identifica cuellos de botella, fallas en el proceso o posibles averías en los equipos, lo que evidencia la presencia de múltiples fuentes de variabilidad que requieren control. La dependencia actual de

operaciones manuales introduce una significativa fuente de variación, generando descontrol que compromete la eficiencia del tratamiento.

Para mitigar esta problemática, se propone la instalación de un sensor que actuará como elemento de control dentro del reactor, monitoreando los parámetros críticos identificados. Adicionalmente, se considera la implementación de dos sensores en los filtros de arena y carbón activado, con el fin de supervisar su funcionamiento y verificar su eficiencia en la salida, dado su papel fundamental en el proceso de tratamiento. Los parámetros a controlar son específicos para cada equipo, conforme a sus requerimientos operativos particulares.

5.3.1. Aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) constituye una herramienta fundamental de gestión de riesgos utilizada en la industria para evaluar sistemáticamente procesos antes de su automatización. Esta metodología proactiva permite identificar potenciales modos de fallo en operaciones manuales o semiautomáticas, analizando sus causas, efectos y mecanismos de detección.

1. Lista de los fallos del proceso actual
 - Llenado de reactor
 - Llenado de pulmones
 - Toma de muestras
2. Identificación de entradas/salidas de cada etapa
 - Entradas:
 - Agua cruda
 - Reactivos
 - Salidas
 - Agua tratada
 - Lodos
 - Residuos de filtros

- Toma de muestras

3. Tabla de AMFE:

Tabla 4

Tabla AMFE del proceso actual del tratamiento

ETAPA	MODO DE FALLO	C	CAUSA PROBABLE	EFEECTO	PUNTUACION
LLENADO DE REACTOR	Perdidas de agua por exceso de llenado (causa entrada de agua por llave manual)	O	Regulación de presión (no se controla la presión que la bomba ejerce)	Perdidas de agua que sirven a la planta y para su producción y uso continuo diario	5
LLENADO DE PULMONES	Rebasamientos de agua (no tienen cierre o apertura en la entrada de agua)	O	Diferencias de volúmenes y de nivel de altura.	Perdida de agua tratada valiosa para el uso de producción	7
TOMA DE MUESTRAS	Datos reales en intervalos de tiempo muy grandes	S	Toma manual de cada muestra	Genera variaciones en la toma de decisiones (sacar los valores que se necesita requiere tiempo, lapso que el reactor es descuidado)	8
TOTAL					280

Fuente: Elaboración propia (envase a la metodología AMFE)

De lo analizado se evidencia la existencia verificada de puntos críticos en el proceso. Por consiguiente, la implementación de un sistema de automatización representa una solución adecuada para controlar estas deficiencias, garantizando la mitigación de los fallos identificados.

5.3.2. Variaciones de nivel de agua

El reactor tiene como labor el tratamiento químico, siendo que toda la materia prima pasa por el sin objeciones, esto indica que debe contener grandes cantidades de la misma, y por tanto requiere pasar todo lo que va tratando del reactor a sus respectivos tanques que son el siguiente paso, los niveles de agua que tiene el reactor varían durante la jornada siendo así que hay una variación, esto implica al encargado que habrá la válvula o la cierre en cuanto sea necesario.

5.3.3. Variaciones de reactivos añadidos

Los reactivos que son en este caso el hidróxido de calcio, el sulfato ferroso y el cloro como agente desinfectante, deben tener un nivel estable en su añadido, y coordina con la cantidad de agua que se añade al reactor pues el hidróxido de calcio en conjunto con el sulfato ferroso son necesarios y no deben de faltar para el tratamiento, y en vista de que se añaden de 25 a 40 kilogramos de hidróxido y de 2 a 2,3 kilogramos de sulfato ferroso, ambos de manera diluida en agua cruda, para mejor homogenización.

5.3.4. Variaciones de control de calidad

Los datos que se recaban por el encargado del tratamiento es necesario para saber si el mismo es efectivo o sucede algo dentro del reactor, por esto el control durante la jornada se realiza cada hora, y este control indica si el añadido de hidróxido de calcio y sulfato son los indicados para continuar en el tratamiento, siendo así que el encargado de este tratamiento debe estar realizando de manera periódica el control, pero suceden inconvenientes dentro de planta que el mismo encargado debe atender dejando el proceso a la deriva y sin vigilancia esto causaría

niveles altos de hidróxido de calcio o en su defecto de sulfato ferroso, y esto se ve en el control con cada muestra que se saca a cada hora.

5.4. Alternativas de automatización

Tabla 5
Alternativas de automatización

Alternativas	Objetivo	VARIABLES	Elementos
1.- Control automático de niveles y bombeo con PLC	Diseñar e implementar (o simular) un sistema de control automático de niveles y bombeo mediante PLC para el proceso de tratamiento de agua.	-Nivel en reactor de 80 m ³ . -Niveles en tanques pulmón previos a filtros	- PLC compacto (por ejemplo, 16–24 entradas/salidas digitales + módulos analógicos). - Sensores de nivel (ultrasónicos o de presión) en pozo, reactor y tanques. - Relés de potencia/contactores para bombas. - Lámparas piloto, pulsadores y selector AUTO/MANUAL en tablero
2.- Sistema de monitoreo y registro (SCADA/HMI)	Diseñar un sistema SCADA/HMI para el tratamiento de agua que permita el monitoreo en tiempo real, el registro histórico y la generación de indicadores de desempeño del proceso.	-Nivel de pozo, reactor y tanques. -Estado de bombas y válvulas. -pH, cloro residual y, si se quiere, turbidez. -Alarmas activas y eventos	- PLC como unidad de campo. - PC industrial o panel HMI con software SCADA/HMI. - Red de comunicación (Ethernet/Profinet/Modbus).

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 6
Funciones de cada alternativa

Alternativas	1.- Control automático de niveles y bombeo con PLC	2.- Sistema de monitoreo y registro (SCADA/HMI)
Funciones de control	<ul style="list-style-type: none"> -Encendido/apagado de bombas según niveles mínimo/máximo. -Protección contra marcha en seco (pozo sin agua). -Alarmas de: -Rebalse de reactor (nivel alto-alto). -Nivel bajo crítico en tanques pulmón. -Registro básico de horas de operación de bombas (para mantenimiento preventivo). 	<ul style="list-style-type: none"> -Mímicos de planta (esquema del reactor, filtros, tanques, etc.). -Tendencias históricas de pH, cloro, niveles, consumo de reactivos. -Registro de alarmas con fecha y hora. -Reportes diarios o por lote de producción.

Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior mencionado de las alternativas se elige la mejor opción para su desarrollo, cuanto mejor sea la alternativa y su costo no sea excesivo se podrá realizar dentro del proceso para que el mismo funcione de la mejor manera.

La alternativa 1 será la que se llevará a cabo por lo siguiente:

Tabla 7
Selección de alternativa y características

Alternativas	Función Principal	Elementos Mínimos Requeridos	Nivel de Oportunidad	Nivel de Mantenimiento
1. Control automático de niveles y bombeo con PLC	Control autónomo de llenado/vaciado de tanques y operación de bombas según niveles programados	<ul style="list-style-type: none"> • PLC • Sensores de nivel • Bomba/electroválvula • Fuente de alimentación • Software básico 	Alto	Bajo <ul style="list-style-type: none"> • Mensual: Verificación de sensores • Anual: Calibración
2. Sistema de monitoreo y registro (SCADA/HMI)	Visualización en tiempo real, registro histórico de datos y generación de reportes automáticos	<ul style="list-style-type: none"> • HMI básico o PC con SCADA • Comunicación PLC • Software SCADA Runtime • Base de datos local 	Medio-Alto	Medio <ul style="list-style-type: none"> • Semanal: Respaldo de datos • Mensual: Actualización de software

Fuente: Elaboración propia

La tabla presenta una síntesis comparativa de las alternativas evaluadas, destacando las principales fortalezas y ventajas de cada una. A partir de este análisis, se ha seleccionado la primera opción como la más viable para su desarrollo, considerando que reúne las condiciones óptimas en términos de eficiencia y costo.

CAPITULO 6
DESARROLLO DE
ALTERNATIVA

5. Alternativa de éxito

5.1. Instalación de tecnología

5.1.1. Control automático de niveles y bombeo con PLC

Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un sistema computarizado robusto diseñado para automatizar procesos industriales. A través de un programa lógico personalizado, el PLC monitorea señales de entrada provenientes de sensores, toma decisiones en tiempo real y controla actuadores (válvulas, motores, bombas) para optimizar operaciones. Su resistencia a ambientes industriales adversos, confiabilidad y capacidad de comunicación con otros sistemas (SCADA, HMI) lo convierten en el núcleo de la automatización moderna, permitiendo el control preciso de variables como nivel, temperatura, flujo y presión en procesos continuos o discretos.

Tabla 1
Componentes del sistema

Componente	Función en el Sistema	Conexión al PLC Eaton XV-300	Observaciones
PLC Eaton (Serie XV-300)	Control central del sistema, procesa señales de entrada, ejecuta lógica de control y activa salidas	N/A (Unidad central)	CPU principal con módulos de E/S según requerimientos
Multiparámetro Bluetooth	Medición de parámetros de calidad de agua: pH, Conductividad (EC), Oxígeno Disuelto (OD)	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada analógica 4-20mA (cada parámetro) • Comunicación Bluetooth (opcional para monitorización) 	Normalmente requiere 3 entradas analógicas (pH, EC, OD) o comunicación serial
Sensores de Cloro	Medición de concentración de cloro residual en el agua	Entrada analógica 4-20mA (1 por sensor)	Generalmente 1-2 sensores dependiendo de puntos de medición

Componente	Función en el Sistema	Conexión al PLC Eaton XV-300	Observaciones
Electroválvula de Control	Control de flujo de entrada de agua al sistema	Salida digital (relé) o analógica 4-20mA (si es proporcional)	Requiere relé de interfaz si consumo > capacidad PLC
Presostato Digital	Protección del sistema contra sobrepresión o baja presión	Entrada digital (todo/nada) o analógica 4-20mA	Configurable como alarma o parada de emergencia
Sensores Ultrasónicos Nivel (4 unidades)	Medición de nivel en cada tanque: <ul style="list-style-type: none"> • Reactor: 80 m³ • Tanque 1: 60 m³ • Tanque 2: 40 m³ • Tanque 3: 80 m³ 	Entrada analógica 4-20mA (1 por sensor) o comunicación Modbus	Proporcionan señal proporcional al nivel (0-100%)
Sistema Alimentación	Suministro de energía eléctrica a todos los componentes: PLC, sensores, actuadores	Conexión directa a bornes de alimentación PLC (24VDC/230VAC)	Incluye protecciones: breakers, fusibles, estabilizador
Caudalímetro Magnético	Medición de flujo de agua que ingresa al sistema	Entrada de pulsos o analógica 4-20mA	Calibración necesaria según rango de medición
Cableado y Conexiones	Interconexión de todos los componentes del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Entradas digitales: módulo DI • Entradas analógicas: módulo AI • Salidas digitales: módulo DO • Salidas analógicas: módulo AO 	Incluye: cables de señal, potencia, tierra, canaletas, terminales

Fuente: Elaboración propia (información recabada de internet)

- Definición de variables, rangos y puntos de consigna

El reactor que tiene características cilíndricas, contendrá un volumen de 80 metros cúbicos de agua, en el mismo se instalarán sensores de nivel máximo y mínimo, los cuales avisarán

al PLC que se requiere de abrir o cerrar la llave de paso del reactor para no tener pérdidas del agua.

$$V = \frac{3\pi}{8} D^3$$

Ecuación 1: Determinación de volumen

$$D^3 = \frac{80 \times 8}{3\pi} = \frac{640}{3\pi} \approx \frac{640}{9.4248} \approx 67.91$$

$$D \approx \sqrt[3]{67.91} \approx 4.08 \text{ m}$$

$$h = 1.5 \times D \approx 1.5 \times 4.08 \approx 6.12 \text{ m}$$

$$h = 6.12 \text{ m}$$

Verificación de volumen:

$$V = \pi \times (2.04)^2 \times 6.12$$

$$V = 3.1416 \times 4.1616 \times 6.12$$

$$V = 80.01 \text{ m}^3$$

Alturas de operación:

- **Altura máxima (h_{\max}):**

$$h_{\max} = 6.12 \text{ m (volumen} = 80 \text{ m}^3)$$

Altura mínima (h_{\min}):

$$\text{Volumen mínimo} = \frac{2}{3} \times 80 \approx 53.33 \text{ m}^3$$

Relación de volúmenes:

$$\frac{V_{\min}}{V_{\max}} = \frac{h_{\min}}{h_{\max}}$$

Ecuación 2: Relación de volúmenes

$$h_{\min} = h_{\max} \times \frac{2}{3} \approx 6.12 \times 0.6667 \approx 4.08 \text{ m}$$

Tabla 2

Resumen de valores para la integración en reactor

Parámetro	Valor	Comentario
Altura total (h)	6.12 m	Capacidad: 80 m ³
Altura mínima	4.08 m	2/3 del volumen total (53.33 m ³)
Altura máxima	6.12 m	Volumen total (80 m ³)

Fuente: *Elaboración propia*

Para que los sensores tengan un mejor desempeño se notifica al PLC de la manera siguiente:

- Abrir llave alerta de nivel mínimo $h = 4.08\text{m}$
- Cerrar llave alerta de nivel máximo $h = 6.00\text{m}$

Cálculos de Tanque 1:

- Cálculo de diámetro:

$$r^2 = \frac{60}{4\pi} = \frac{15}{\pi}$$

Ecuación 3: Determinación de diámetro

$$r = \sqrt{\frac{15}{\pi}} \approx \sqrt{4.77465} \approx 2.185 \text{ m}$$

$$D = 2r \approx 4.37 \text{ m}$$

- Cálculo de altura mínima:

$$40 = \pi(4.774)h$$

$$40 \approx 14.999 h$$

$$h \approx \frac{40}{14.999} \approx 2.667 \text{ m}$$

Cálculos tanque 2:

Altura mínima:

$$h_{min} = \frac{V_{min}}{Ab}$$

Ecuación 4: Determinación de altura mínima

$$h_{min} = \frac{26.667}{10}$$

$$h_{min} = 2.667 \text{ m}$$

Tabla 3

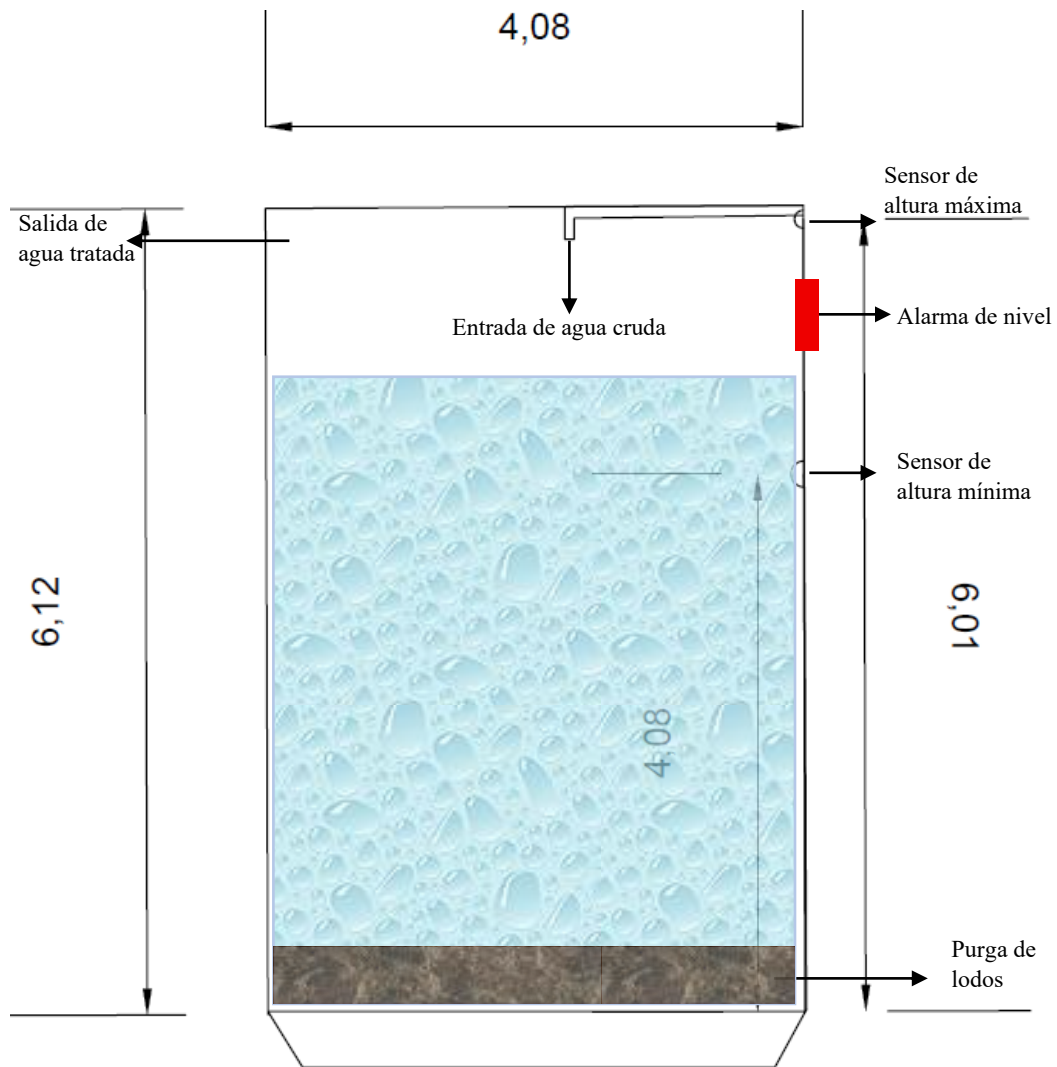
Altura de sensores para los diferentes tanques

Parámetro	Reactor	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3
Altura total (<i>h</i>)	6.12 m	4 m	4 m	6.12 m
Altura mínima de sensor	4.08 m	2.67 m	2.67 m	4.08 m
Altura máxima de sensor	6.01 m	3.80 m	3.80 m	6.01 m

Fuente: *Elaboración propia*

El diagrama de flujo siguiente está adaptado a los niveles en volúmenes para una mejor visualización del funcionamiento.

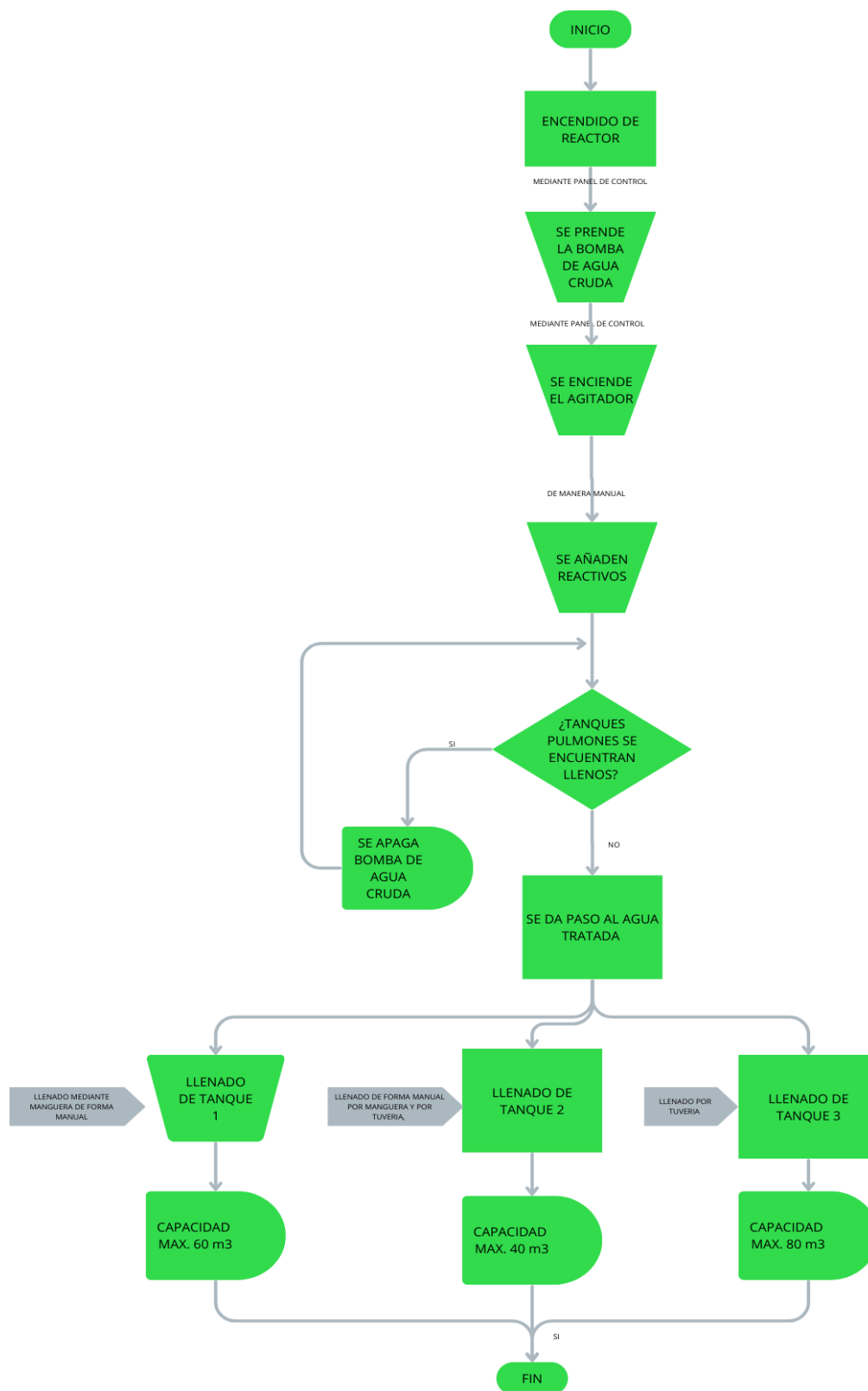
Tabla 4
Diagrama de sensores en reactor



Fuente: Elaboración propia

Como se visualiza en el diagrama los sensores y el punto de alerta estarán puestos de la misma manera en todos los demás tanques, no habiendo distinción, solo su distancia en la altura de posición.

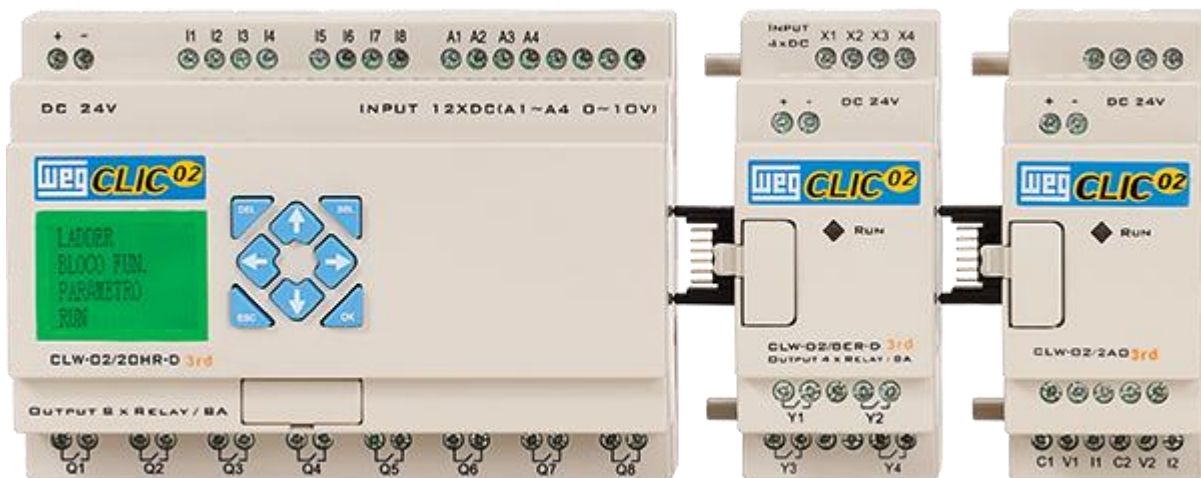
Figura 1
Diagrama de flujo sobre llenado de tanques



Fuente: Elaboración propia

Para efectuar las diversas tareas que requiere automatización, es necesario la utilización de un dispositivo como el PLC o Controlador Lógico Programable, tal como, el clic 02 de la línea WEG, el cual se ilustra junto a sus módulos de expansión, los cuales permiten el manejo de corrientes necesarias para la activación de los accionamientos.

Figura 2
Referencia de equipo PLC


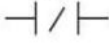
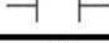
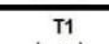
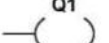

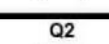

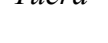


Fuente: Ing. Víctor Yucra

Lenguaje LADDER o Escalera

Es un recurso diagramático compuesto de contactos, bobinas y funciones necesarios para la realización de secuencias de conexiones que permiten grabar en la memoria de un PLC para su conexión y operatividad. Son muchos los modelos de PLC, Switchs, relés inteligentes que pueden realizar el trabajo de automatización y control de variables. El lenguaje Ladder o escalera se vale de múltiples símbolos para la realización de las tareas y acciones que se requieren, a continuación, se ilustra un set de símbolos de estos, que según algunos autores, pueden diferir en la forma o aspecto de los mismos.

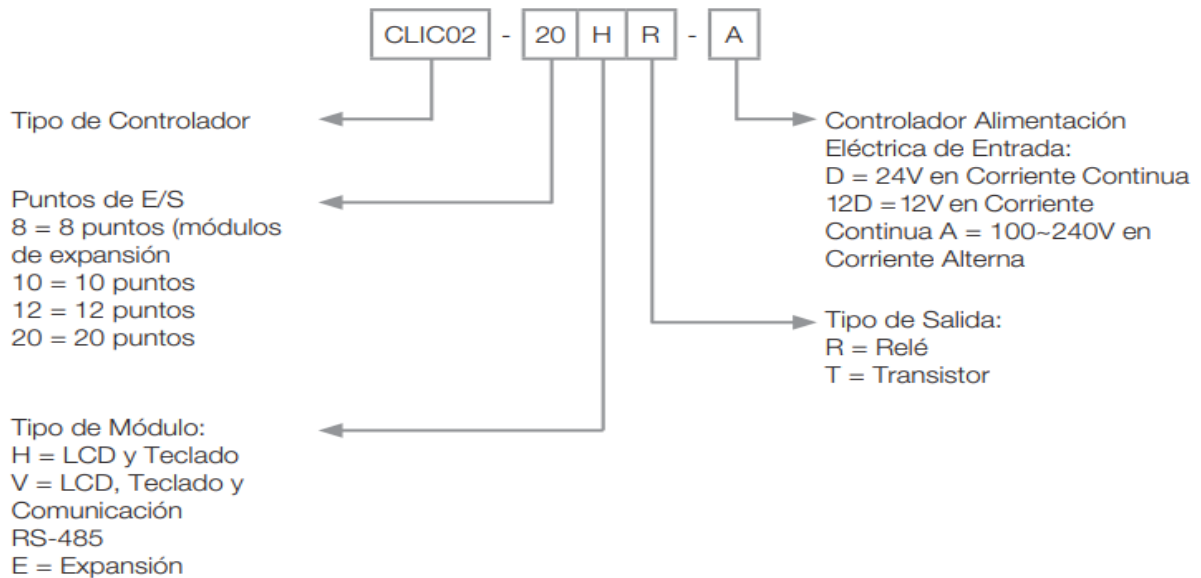
Figura 3
Nomenclatura de Ladder

I1 	Contacto Normalmente Abierto Asociado a la Entrada I1 de un Automata Programable.
I2 	Contacto Normalmente Cerrado Asociado a la Entrada I2 de un Automata Programable
Q1 	Contacto Abierto Asociado a la Salida Q1 de un Automata Programable
Q3 	Contacto Cerrado Asociado a la Salida Q3 de un Automata Programable
T1 	Contacto Cerrado Asociado al Temporizador T1
Q1 	Salida (Bobina) Directa Q1. Está sin activar hasta que le llega corriente y se activa.
Q2 	Salida Inversa. Está Activada normalmente, se desactiva cuando le llega una señal eléctrica.
Q5 	Bobina de Activación (SET). Una vez que la bobina se activa, permanece activa aunque el circuito se abra.
Q2 	Bobina de DesActivación (RESET). Al cerrarse el circuito, la bobina se desactiva, permaneciendo en este estado aunque se varíe su entrada.

Fuente: Ing. Víctor Yucra

El diagrama KOP o del alemán Kontaktplan es una serie de elementos gráficos utilizados en PLC para establecer y manejar automatismos. En cuanto a las configuraciones de los PLC

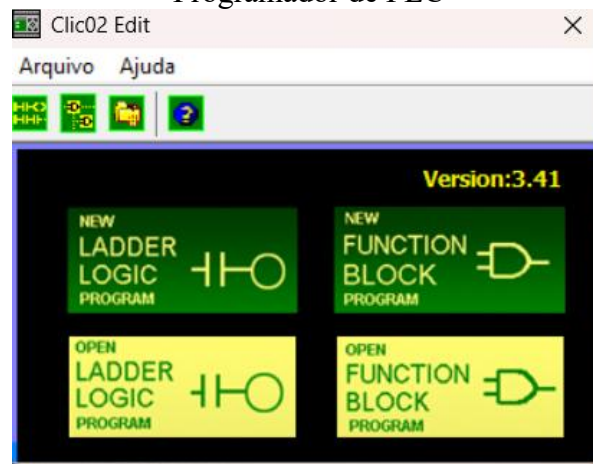
Figura 4
Características de PLC



Fuente: Ing. Víctor Yucra

Este módulo permite realizar lenguaje Ladder y también trazar el diagrama utilizando Bloques de Funciones, en todo caso, dependerá la comodidad del programador.

Figura 5
Programador de PLC

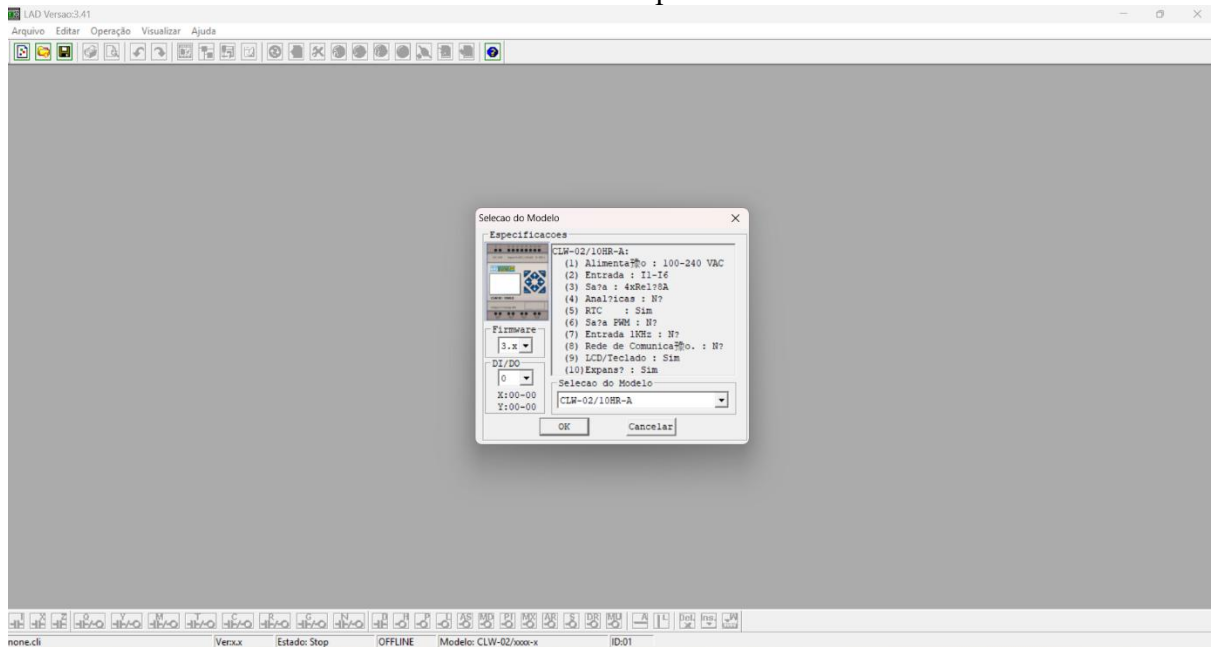


Fuente: Ing. Víctor Yucra

Asimismo, la configuración del elemento es muy sencillo, se debe conectar el dispositivo clic 02 al PC o equipo de computación a través del cable de programación que viene incluido en

el set, luego debe abrirse el archivo de ejecución denominado Clic 02 Edit y realizar la configuración para reconocimiento del dispositivo.

Figura 6
Modos de edición para PLC

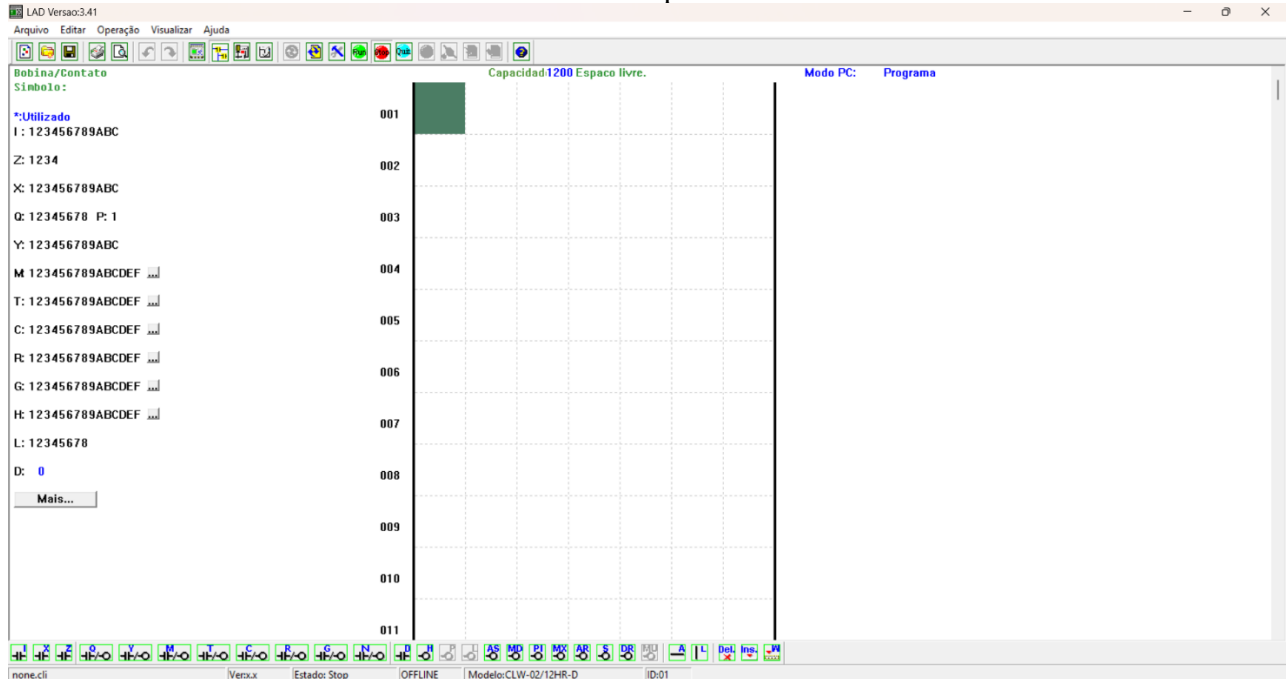


Fuente: Ing. Victor Yucra

A continuación, se selecciona en la pestaña inferior el modelo del dispositivo PLC conectado, que en el caso que se trata es el CLW 02/12HR-D.

Luego de aceptar el modelo seleccionado, el archivo apertura una pantalla cuadrículada para la programación de las secuencias, como se ilustra en la figura:

Figura 7
Graficas de control para PLC



Fuente: Ing. Víctor Yucra

En la parte izquierda se pueden ver los comandos de las entradas y los estados actuales, en la parte inferior, se advierten los símbolos y las nomenclaturas para la elaboración de las secuencias.

Para abordar la secuencia de procedimientos que se realiza, a continuación, se presenta el algoritmo de pasos a ejecutar:

ALGORITMO: CONTROL_REACTOR_V1.0

SISTEMA: TRATAMIENTO DE AGUA

INICIO

// 1. SECUENCIA DE ARRANQUE (ENCENDIDO DE REACTOR)

EJECUTAR Protocolo_Arranque:

- ACTIVAR Agitador [Panel_Control]
- ACTIVAR Bomba_Agua_Cruda [Panel_Control]
- CONFIRMAR Adicion_Manual_Reactivos

// 2. LAZO DE CONTROL PRINCIPAL

REPETIR

SI (Estado_Tanques_Pulmones == "LLENOS") ENTONCES

BLOQUEAR Entrada_Agua_Cruda

NOTIFICAR

SINO

LIBERAR Valvula_Agua_Tratada

// Llenado de Tanques según Capacidad

INICIAR Llenado_Simultaneo:

Tanque_1 -> Cap_Max: 60m3

Tanque_2 -> Cap_Max: 40m3 (Entrada Híbrida)

Tanque_3 -> Cap_Max: 80m3

FIN SI

HASTA QUE (Lectura_Max >= 180)

// 3. PARADA DE SEGURIDAD

FINALIZAR_PROCESO

EMITIR Señal_Fin_Ciclo

FIN

El anterior diagrama enfatiza en la naturaleza de la secuencia que se activa tras el encendido del reactor, sin embargo, se advierte que los 3 eventos pertenecientes al 2do nivel son etapas encadenadas y no activaciones simultaneas de los sistemas, porque cada acción está controlada por un accionamiento que lleva tiempo ejecutarse.

DIAGRAMAS LADDER

Para entender el procedimiento desde la etapa inicial, es necesario conectar el reactor de agua o tanque de contacto con el resto del sistema acoplado a él, como los tanques distribuidores menores, los cuales deben tener sistemas de sensorizado por nivel para el monitoreo del volumen, y también el accionador en caso de manejar los niveles mínimo, medio, intermedio y máximo del mismo, por lo tanto, la lógica Ladder debe gestionar el trasvase de fluido basándose en los niveles de los depósitos de agua.

Normalmente este proceso se realiza utilizando una bomba de traspaso o transferencia, o bien, a través de una válvula a motor que se abre solo cuando el reactor tiene suficiente agua y los tanques de menor volumen requieren ser llenados.

Realizando un desglose o detallado de las tareas a efectuar, a continuación, se presentan las diversas etapas contempladas en el diagrama de flujos, donde se pueden ver los estados y funciones de los elementos del mecanismo:

Descripción de la lógica de Control

1. **Estado permisivo del reactor:** La transferencia del agua solo ocurre si el reactor de contacto está por encima de la referencia de un nivel mínimo determinado por el proceso, que implica variables como presión, caudal, volumen estacionado y otros, para evitar que la bomba trabaje en seco).
2. **Gestión de los Tanques Menores:** Esta condición se activa cuando los tanques distribuidores alcanzan un nivel crítico de bajo.
3. **Control y corte por Llenado de tanque:** Los sensores de nivel detectan el nivel del agua y detienen la entrada o transferencia cuando los tanques menores alcanzan el nivel alto.
4. **Seguridad del sistema:** El mecanismo de control, incluye un selector Manual/Automático y también protección térmica para la bomba.

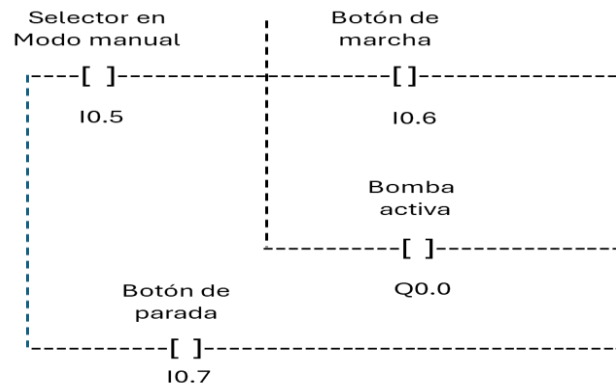
Peldaño 001: Control de la Bomba de Transferencia / Válvula

Figura 8
Modo de control de bomba

Térmico de seguridad (NC)	Nivel Mínimo del Reactor (NA)	Selector en automático (NA)	Demanda de volumen de tanques (NA)	Nivel Máximo de tanques (NC)	Salida de bomba de transferencia
----[/]-----	-----[]-----	-----[]-----	-----[]-----	-----[/]-----	-----()-----
10.0	10.1	10.2	10.3	10.4	Q0.0
(Protección del motor)	(Estado permisivo del Fluido)	(Modo de Trabajo)	(Sensor de Llenado)	(Sensor de Corte)	(Salida Física)

Fuente: Ing. Víctor Yucra

Figura 9
Función de bomba



Fuente: Ing. Víctor Yucra

Peldaño 002: Alarma de Tanque Reactor Vacío (Nivel Crítico)

En este peldaño se puede ver la monitorización y activación del reactor en el caso de detectar nivel de agua bajo o mínimo.

Figura 10
Función de nivel crítico



Fuente: Ing. Víctor Yucra

Para los diagramas desarrollados:

Tabla 5
Funciones de dispositivos

Dirección	Dispositivo	Función
I0.1	Sensor Nivel Reactor	Contacto abierto si hay agua. Si el reactor se vacía, el contacto se abre y detiene la bomba por seguridad y protección.
I0.3	Sensor Nivel Bajo (Menores)	Indica que los tanques distribuidores requieren agua.
I0.4	Sensor Nivel Alto (Menores)	Contacto cerrado que se abre cuando los tanques están llenos, rompiendo el circuito de la bomba.
Q0.0	Bomba / Electroválvula	Elemento físico que permite el paso del agua del tanque de contacto a los distribuidores.

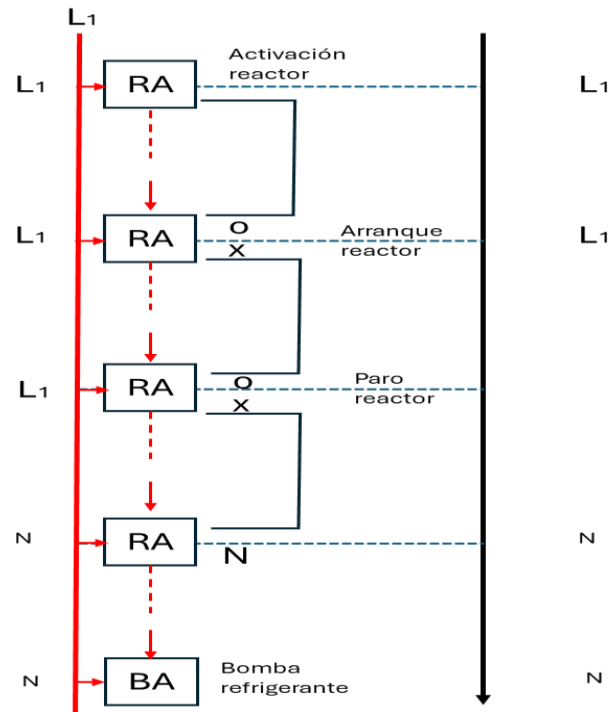
Fuente: Ing. Víctor Yucra

En plantas de muy grandes dimensiones, en los tableros de control se suele acoplar un timer o temporizador de retardo o delay llamado TON cuando los sensores de nivel requieren reportar sus estados; esta medida evita que la bomba se encienda y apague constantemente debido al oleaje o turbulencia del agua dentro de los tanques. Se debe entender que los motores bombas o Pump son elementos Duty Continuous, es decir, de funcionamiento constante o sostenido en el tiempo.

A continuación, se presenta el desglose de los diagramas de activación del sistema en conjunto, donde se observan las funciones de estado y los accionamientos dados por los diagramas de contactos.

Encendido del reactor de agua

Figura 11
Encendido de reactor

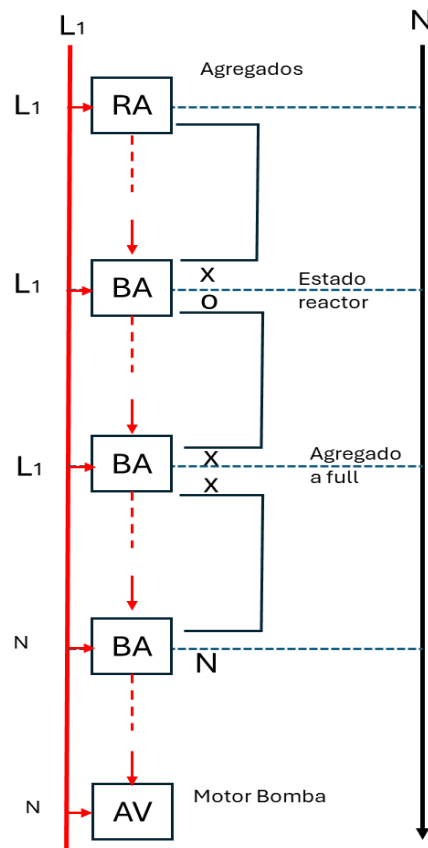


Fuente: Ing. Víctor Yucra

El diagrama Ladder muestra la secuencia de activación del reactor RA como elemento que inicia el proceso mediante el arranque del mismo mediante la energización de la línea, la función de paro o detenimiento, el enclavamiento del estado y finalmente su acoplamiento a la BA o bomba refrigerante, que es precisamente la siguiente etapa.

Activación Bomba de agua

Figura 12
Activación de bomba de agua



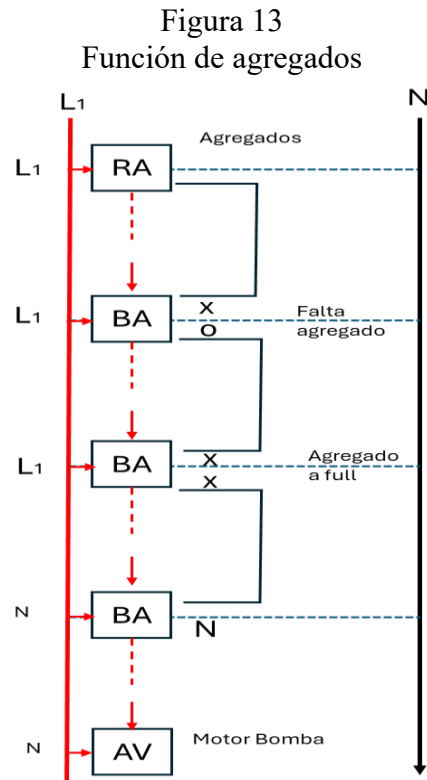
Fuente: Ing. Victor Yucra

Para la activación o puesta en marcha de la bomba de agua, es necesario que el reactor ya esté enclavado en el estado de funcionamiento, si no es así, entonces no se completará la secuencia del funcionamiento inicial, en ese sentido, en el diagrama Ladder, la válvula RA queda activada o abierta para dar paso al inyectado de vertidos o sustancias añadidas que comienzan a agregarse en los tanques. Como se puede notar en el esquema, el estado del reactor indicado con una “x” significa que pasa del estado cerrado al estado abierto, e cual se indica con el símbolo “o”.

Este procedimiento también debe ser enclavado para el sostenimiento de la condición de funcionamiento, y esto se logra cuando BA o la activación de la bomba es puesta como

interface para la siguiente etapa que es el encendido o puesta en marcha del motor Bomba o AV como se indica.

Control compuertas agregados



Fuente: Ing. Victor Yucra

Este diagrama corresponde al estado de agregados que se realiza a la secuencia iniciada, la diferencia con el anterior diagrama, es que el proceso permite detectar una falla de agregados o añadidos, los cuales se indican con estados “x o”, sin embargo, cuando los mismos están completos, la bomba BA pasa al estado de Agregado a full, obviamente, el procedimiento de los añadidos debe ser realizados en forma manual, porque el sistema solo detecta la condición del momento.

La síntesis de los 3 diagramas presentados son las representaciones de control para el proceso del agua que se desglosa en 3 secciones o etapas, los esquemas corresponden a Diagramas

de Escalera o Ladder Logic donde las partes y componentes están indicadas según las siguientes descripciones:

L1: Fase

N: Neutro

RA: Contacto bobina

BA: Contacto bobina

AV: Contacto Bobina

La explicación de la secuencia es la siguiente:

1. Encendido del Reactor de Agua

Se produce el arranque y con la seguridad del caso, en este caso, es necesario enfatizar en la protección eléctrica correspondiente.

- **Condiciones de Inicio:** El sistema requiere una señal de "Inicio Reactor" (RA).
- **Seguridad:** Incluye un contacto de "Paro Reactor" (NC o normalmente cerrado) que, al activarse, interrumpe toda la línea por seguridad.
- **Salida (Actuador):** Si las condiciones se cumplen, se activa la bomba de refrigeración (BA). Esto sugiere que, por diseño, el reactor no puede operar si el sistema de enfriamiento no está encendido primero.

2. Activación de la Bomba de Agua

Esta sección controla el llenado o flujo principal basándose en sensores de nivel.

- **Condición de Nivel:** Se activa cuando el sensor detecta un "Nivel Agua Alto" (RA).

- **Interbloques de Fallo:** El flujo pasa por dos contactos de seguridad: uno etiquetado como flujo y un contacto de "Fallo Bomba". Si cualquiera de estos detecta un error, el circuito se abre.
- **Salida (Actuador):** Al completarse el circuito, se energiza el Motor de la Bomba de Agua (AV).

3. Control de Compuerta para agregados

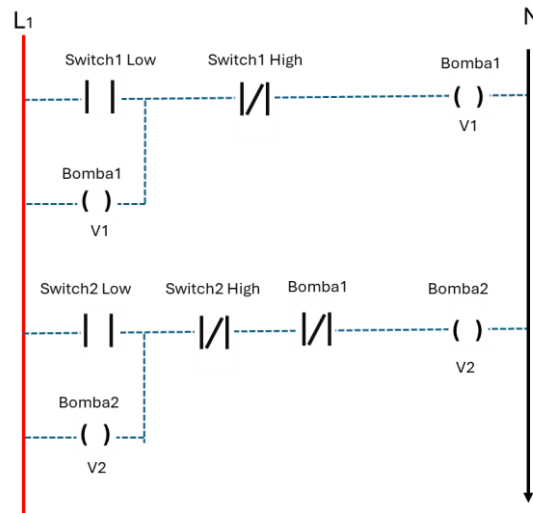
Esta parte gestiona la adición de aditivos al proceso.

- **Condición de Receta:** El ciclo inicia cuando la "Receta Colorante" está activa (AV)
- **Validación de Insumos:** La lógica verifica que no haya alarmas de "Colorante Agotado". También incluye una condición de seguridad adicional ("Falta agregados", probablemente referido a la disponibilidad del tambo o contenedor).
- **Salida (Actuador):** Si hay receta activa y hay material disponible, se abre la Válvula de Compuerta de agregados (AV).

Control de llenado de tanques de agua con bomba llena o vacía

La tarea de llenar con agua los diferentes tanques es algo que se sintetiza en el control de activación o desactivación directa de contactos en un diagrama Ladder, a continuación, se pueden observar estas funciones donde los conmutadores o switches se abren o cierran según las condiciones necesarias.

Figura 14
Control de bombas



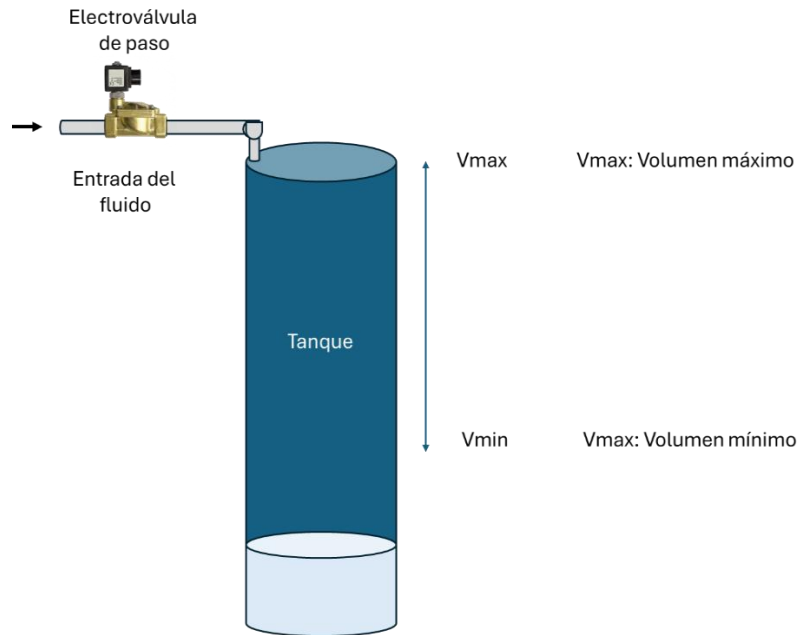
Fuente: Ing. Victor Yucra

Los switches 1 y 2, según los requerimientos están en estado abierto o cerrado, indicados con los términos High o Low respectivamente. Las válvulas v1 y v2 asociadas a las bombas son los elementos a controlar y enclavarse para garantizar la activación o desactivación respectiva. Estas válvulas pueden ser controladas por inicios de parte del operario, o en forma automática, por activaciones de etapas anteriores sincronizadas.

L1 y N son o representan a las líneas de energía alterna que alimentan los elementos conectados al diagrama, en el caso, se trata de una simple conexión monofásica a la red.

Para tener una idea gráfica de lo que se realiza, a continuación, se presenta el esquema simple del sistema de accionamiento del llenado de un tanque, donde se observa que la entrada del agua se realiza mediante una válvula o electro válvula accionada para abrir con energía o cerrar cuando esta no esté presente.

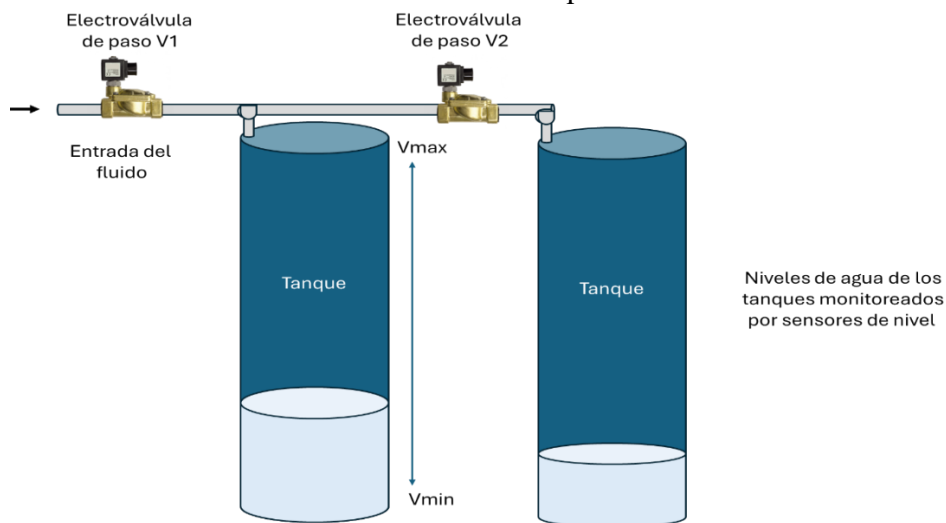
Figura 15
Nivel en tanque



Fuente: Ing. Víctor Yucra

A continuación, se presenta el diagrama Ladder de accionamiento de la bomba 1, que es el elemento inicial de accionamiento que, tras salir del enclavamiento, activa o pone en marcha la bomba 2 como se ve en la ilustración:

Figura 16
Niveles en 2 tanques



Fuente: Ing. Víctor Yucra

Para controlar el llenado de 2 tanques con una sola bomba, el diagrama Ladder es simple comparado con el caso de controlar ambas, en sí, el sistema debe ser capaz de detectar cuál tanque necesita agua y dirigirla mediante electroválvulas (V1 y V2), asegurando que la bomba solo funcione cuando al menos una válvula esté abierta. A continuación, se presenta la terminología técnica aplicada:

Entradas y Salidas (Input=Output)

Estado: Switch1 Low/Switch2 Low → I:0.0/I:0.2 → esta condición detecta si el tanque está vacío (NA)

Estado: Switch1 High/Switch2 High → I:0.1/I:0.3 → esta condición detecta si el tanque está lleno (NA)

Estado: Válvula1 (V1) → Q: 0.0 esta condición abre paso al tanque1

Estado: Válvula2 (V2) → Q: 0.2 esta condición abre paso al tanque2

Bomba (M) → Q:0.2 → Motor o accionador principal

Llenado de los 3 tanques de agua

Para efectuar el control del llenado de tres tanques de agua con una sola bomba, se recomienda utilizar una lógica o configuración tipo cascada, es decir, el mecanismo comprobará el estado del tanque 1, luego el del tanque 2 y finalmente el tanque 3, esta condición hará que la bomba funcione si hay una válvula abierta para evitar daños por sobrepresión.

A continuación, se describen las condiciones de los elementos:

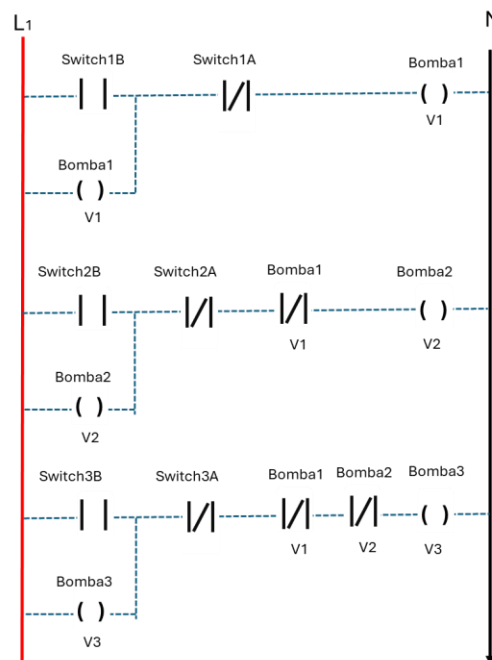
Figura 17
Condiciones de Elementos

Mecanismo	Dirección	Estado o tipo	Descripción
S1B, S2B, S3B	I:0.0, 0.2, 0.4	NA	Sensores de Nivel Bajo (se activan al vaciarse el tanque)
S1A, S2A, S3A	I:0.1, 0.3, 0.5	NC	Sensores de Nivel Alto (se abren al llenarse el tanque)
V1, V2, V3	Q:0.0, 0.1, 0.2	Salida	Electroválvula independiente de cada tanque
Bomba	Q:0.3	Salida	Motor bomba

Fuente: Ing. Victor Yucra

El diagrama Ladder para este procedimiento es el siguiente:

Figura 18
Diagrama de funcionamiento



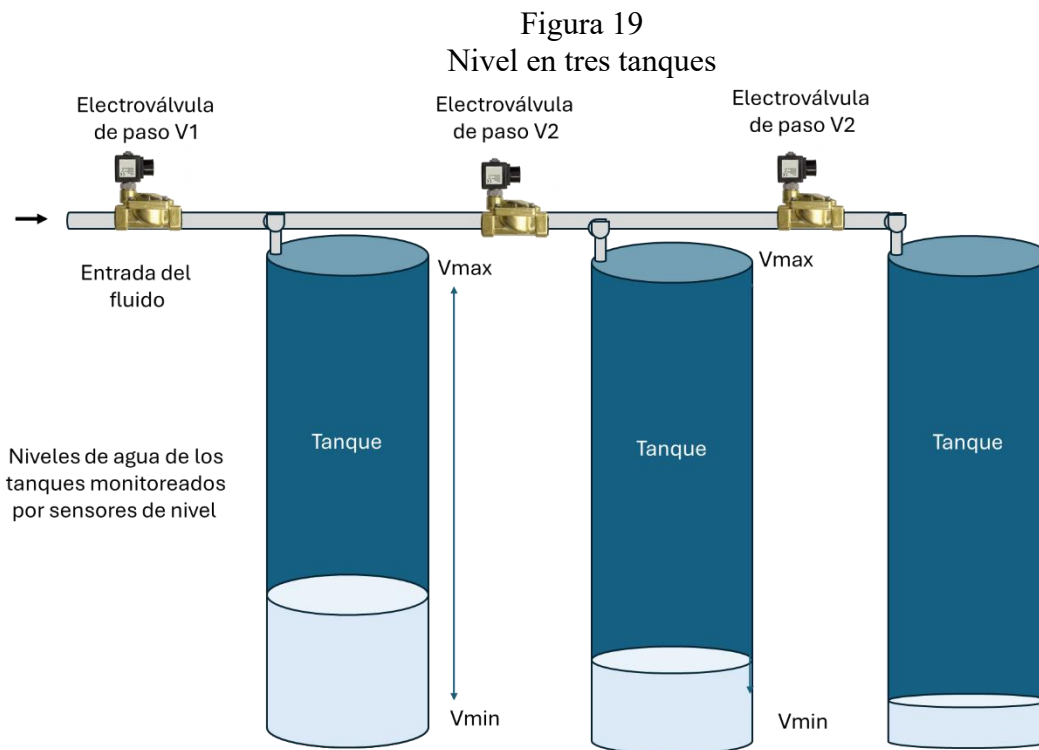
Fuente: Ing. Victor Yucra

El diagrama Ladder para la activación secuencial de las válvulas v1, v2 y v3 es el conjunto de acciones que se requieren para activar cualquiera de los sistemas de llenado, esto significa que, si cada tanque tiene asignado un elemento de control, entonces, en función a la naturaleza del procedimiento puede darse el siguiente escenario:

-Que solo se requiera una bomba y 3 válvulas, en este caso, el llenado de los tanques no es uniforme, por lo que el procedimiento estará completado en un tiempo que está en función de aspectos como el volumen total del tanque, el caudal que maneja la válvula, la presión del agua inyectada y otros factores como entrada de aire por cada tanque.

-Que se requieran 3 bombas independientes, cada una con su respectiva válvula de control, en este caso el llenado o completitud a los niveles máximos sería uniforme.

A continuación, se esquematiza esta situación:



Fuente: Ing. Víctor Yucra

Ahora bien, en función a los requerimientos propios del proceso, se debe tomar en cuenta el ritmo de extracción de los tanques, esto es, la velocidad o caudal por minuto del agua que se dispone para el proceso debe estar supeditado a la actuación de las válvulas y la bomba para no tener el estado de falta de agua o volumen de agua, por lo tanto, para garantizar esta

disponibilidad, el procedimiento secuencial debe contemplar los estados o volúmenes de los tanques en tiempo real, esta tarea, es posible o al menos recomendable realizarla con un sistema de monitoreo SCADA o Supervisory Control and Data Acquisition, que en español se entiende como Control de Supervisión y Adquisición de Datos, el cual es una red automática de alto nivel y prestación para el monitoreo permanente de variables que cambian de estados durante los procedimientos.

SIMULACION:

- DESCRIPCION DE SIMULADOR

La siguiente simulación esta realizada en 2 tipos de simuladores, los cuales son complemente el uno del otro, aun así, ambos son funcionales de manera individual, el primero tiene por nombre CADE Simu, y el otro llamado PC Simu.

o CADE Simu:

El simulador funciona como base de trabajo, el mismo da opciones de diagrama eléctrico y patrones que son de entendimiento para diagramas 2d, con el se puede realizar los diagramas Ladder que son la base para que se pueda entender la simulación, este programa tiene sus limitaciones pues sus adaptaciones a 3d no son visibles al 100%, contiene herramientas básicas estas se atribuyen a solo el 2d, se encuentra actualizaciones que hasta el día de hoy son significantes pero no completas, su espacio de trabajo es limitado al trabajo que se realice, puede simular trabajos individuales, pues si habilitamos más de uno puede sobre cargarse.

o PC simu:

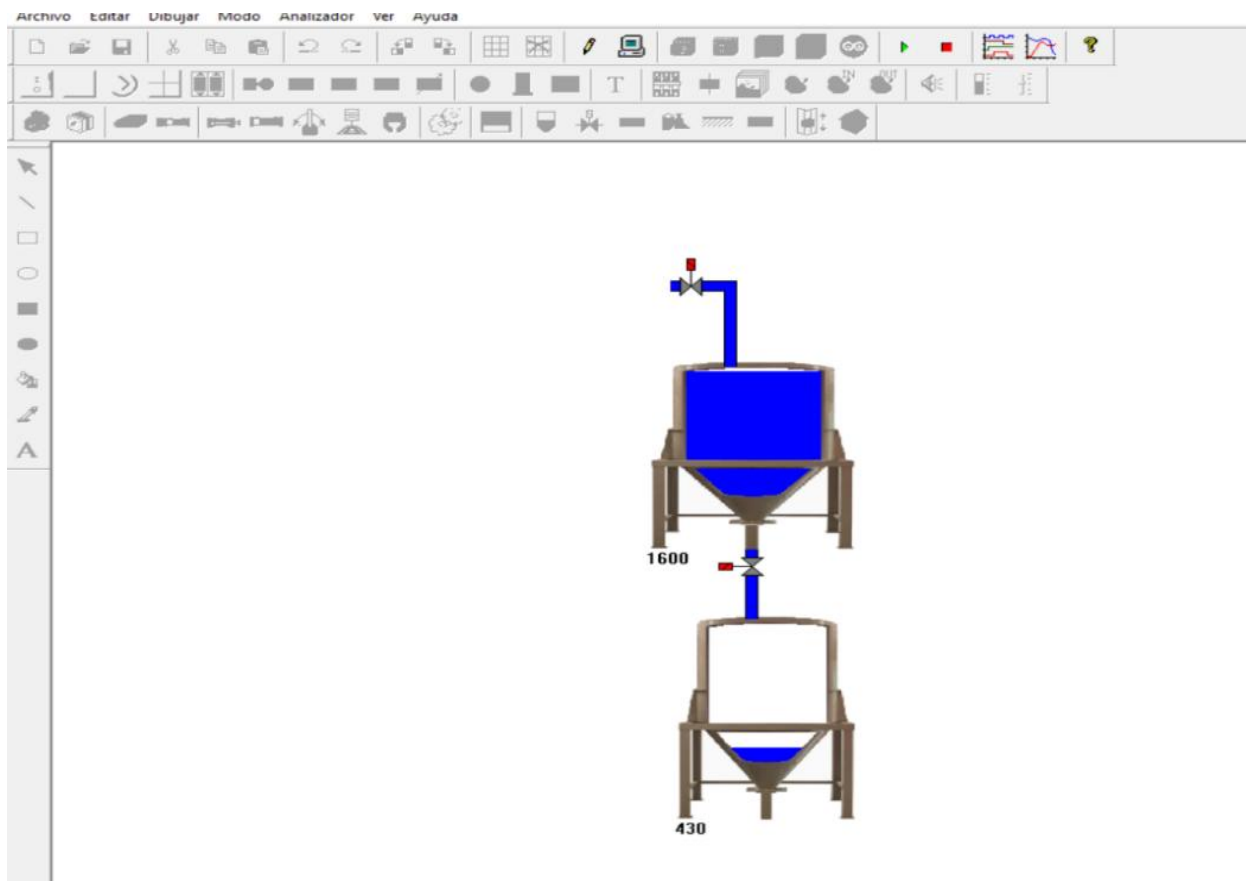
El siguiente programa es un complemente del anterior para una vista en 3d y de movimiento del anterior programa, por lo cual ambos son necesarios si se requiere una simulación completa, el mismo tiene herramientas en 3d que se pueden ver, mover y diferenciar por sus gráficos, el programa en si demuestra tener potencial para simuladores o quien busca una simulación breve pero concisa.

El mismo tiene limitaciones que son, el llenado de tanques solo es hasta 10,000 Litros, el campo visual es reducido a la pantalla que se muestra, los

componentes no pueden ser de diferente tamaño pues opacan a otros elementos la distribución de líquidos o sólidos que se pueda mostrar en cuanto a llenado de tanques se limita a uno, por lo cual no se logra observar el llenado de más de un tanque a partir del primero.

Con lo anterior mencionado existe una limitación, ambos están programados de manera que sin uno de ellos la simulación no será exitosa, esto se debe que a la relación que existe entre ellos, pues CADE simu sirve para programar el diagrama y el PC simu lo ejecutará mostrando un resultado satisfactorio

Figura 20
Simulación de proceso



Fuente: PC simu

Como se observa en la simulación, el reactor muestra un nivel de 1,600 litros. Esta lectura representa una escala reducida del sistema real, cuyos valores reales superan los 10,000 litros. Debido a las limitaciones del software de simulación, que no permite trabajar con los valores reales de los tanques (que exceden los 10,000 litros), se ha implementado una escala aproximada donde 4,000 unidades en el simulador equivalen a 40,000 litros en el sistema real. Esta aproximación permite validar la lógica de control manteniendo las proporciones operativas.

5.1.2. Correcto funcionamiento del sistema

Tabla 6
Diagrama de Bloques Funcional

Sección	Descripción	Diagrama/Componentes
Diagrama de Bloques Funcional	Representación gráfica del flujo del proceso y control	[Fuente Agua Cruda] → [Caudalímetro] → [Tanque Mezcla] → [PLC] → [HMI] ↓ (Medición) ↓ (Control) ↓ (Control) ↓ (Monitoreo) [Sensores] → [Electroválvulas] → [Registro Datos]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7
Componentes y Funcionamiento Técnico

Componente	Configuración/Especificaciones	Funcionamiento/Lógica
PLC Eaton (Serie XV-300)	CPU: 315-2 Entradas: 8AI (4-20mA), 16DI Salidas: 4AO, 12DO Comunicaciones: Ethernet/IP, RS-485, Bluetooth	IF Nivel_Tanque < 80% THEN Válvula := TRUE IF pH_Actual < 6.5 THEN Válvula_Álcali := PID(...)
Multiparámetro Bluetooth	pH: Electrodo vidrio Ag/AgCl CE: Celda 4 electrodos (K=1.0) OD: Sensor óptico luminescente	python ser = serial.Serial(port='COM5', baudrate=9600) Modos: Online/Offline Verificación: Cruzada con sensores fijos

Componente	Configuración/Especificaciones	Funcionamiento/Lógica
Sensores de Cloro	Tipo: Amperométrico 3 electrodos Rango: 0-5 ppm (resolución 0.01) Compensación: Temperatura 0-50°C	Cloro_Corregido := Cloro_Medido * (1 + 0.021*(Temp-25)) Reacción: $\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$
Electroválvula de Control	Tipo: Solenoide proporcional 4-20mA Cv: 2.5 Respuesta: <2 seg Retroalimentación: Potenciómetro 0-1000Ω	PID_Cloro(PV:=Cloro_Corregido, SP:=0.5, Kp:=1.2, Ti:=30.0)
Presostato Digital	Rango: 0-10 bar Contactos: 2 SPDT Ajustes: Baja 1.5 bar, Alta 8.5 bar Histéresis: 0.3 bar	DI0 (PLC) ←—[NO]—(24VDC)—[COM] Presostato Interfaz directa con PLC
Sensores Ultrasónicos Nivel	Rango: 0.5-8 m Precisión: ±0.25% FS Ángulo haz: 8° Salida: 4-20 mA	Nivel = (Velocidad_Sonido × Tiempo_Vuelo) / 2 Velocidad_Sonido := 331.4 + (0.606 * Temp_Aire)
Sistema Alimentación	Esquema: Red 220VAC → Protector → Transf. 220/24VAC → Fuente 24VDC Protecciones: Breakers (Curva C), fusibles, varistores MOV	Distribución jerárquica de potencia y protecciones eléctricas
Caudalímetro Magnético	Principio: Ley de Faraday Fórmula: $U = B \times v \times D \times k$	Caudal_Raw := (AI_Caudalímetro - 4.0) / 16.0 Acumulador := Acumulador + (Caudal_LPS × Tiempo_Muestreo)
Cableado y Conexiones	Tipos: SHIELDED 2x1.5mm ² (señales), UTP Cat6 (Ethernet), NYA 3x2.5mm ² (24VDC), Coaxial RG-58	Conexiones PLC: AI0: pH, AI1: Cloro, AI2: Nivel, AI3: Caudal, DI0: Presostato, DO0: Válvula Cloro, DO1: Válvula pH

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8
Calibración Inicial del Sistema

Sensor/Equipo	Procedimiento de Calibración	Puntos de Calibración	Tolerancia
Sensores de pH	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparar buffers 4.01, 7.00, 10.01 2. Enjuagar electrodo 3. Ajustar offset (buffer 7.00) 4. Ajustar pendiente (buffer 4.01 o 10.01) 5. Verificar con segundo buffer 	4.01 \pm 0.05 7.00 \pm 0.02 10.01 \pm 0.05	\pm 0.1 pH
Caudalímetro Magnético	<ol style="list-style-type: none"> 1. Llenado volumétrica referencia (1000L) 2. Medir tiempo llenado (T) 3. Calcular $Q = V/T$ 4. Ajustar factor K 5. Repetir 25%, 50%, 75% escala 	0 LPS 50 LPS 100 LPS	\pm 1% FS
Sensores de Cloro	Calibración con soluciones estándar	0.0 ppm 1.0 ppm 5.0 ppm	\pm 0.05 ppm
Sensores de Nivel	Comparación con medición manual	0.0 m 2.5 m 5.0 m	\pm 0.02 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9
Secuencia de Arranque del Sistema

Fase	Tiempo	Actividades	Verificaciones
FASE 1: Inicialización	0-30 min	<ol style="list-style-type: none"> 1. Energizar tablero 2. Verificar tensión (24VDC \pm5%) 3. Encender PLC (RUN) 4. Verificar HMI 5. Inicializar variables 	Todos tags activos
FASE 2: Prueba Sensores	30-60 min	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar pH (buffer 7.00) 2. Verificar cloro (<0.1 ppm) 3. Verificar nivel 4. Verificar caudal (cero) 	pH: 6.98-7.02
FASE 3: Prueba Actuadores	60-90 min	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prueba manual válvulas (0%, 50%, 100%) 2. Verificar tiempos respuesta 3. Verificar sellado 	Tiempo <2 seg, sin fugas
FASE 4: Operación Automática	90+ min	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer setpoints 2. Activar modo automático 	Variación \pm 5% en 1 hora

		3. Monitorear estabilidad 4. Documentar valores	
--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10
Software de Programación y Configuración

Elemento	Estructura/Configuración	Código/Ejemplo
5.1 Estructura CODESYS	Proyecto: sistema_agua_potable módulos: gvl, main, function_blocks, visualization	Organización jerárquica de POU's
5.2 Código Control Principal	Variables: PID_pH, PID_Cloro, Valve_pH, Valve_Cloro, Alarmas Secuencia: Init, Scan, Alarm, Control	IF Nivel_Actual < Nivel_Min THEN Válvula_Entrada := TRUE PID_pH(PV:=pH_Actual, SP:=pH_Setpoint, ENABLE:=TRUE)
5.3 Configuración HMI	Pantallas: Overview, Control, Trends, Alarms, Reports Comunicación: OPC UA	<Endpoint url="opc.tcp://192.168.1.100:4840"> <Tag name="pH_Actual" datatype="Float" address="%MW100"/>

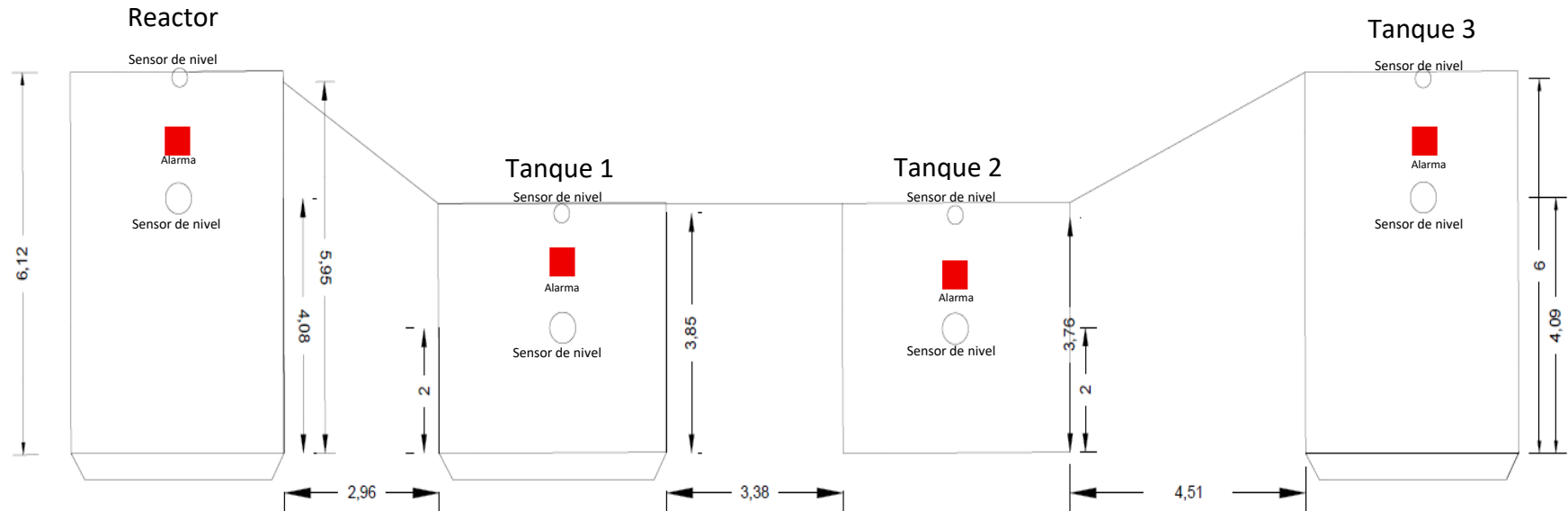
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11
Resumen de Especificaciones Técnicas

Parámetro	Especificación	Cumplimiento
Control PLC	Eaton XV-300, 8AI/16DI/4AO/12DO	IEC 61131-3
Monitoreo Calidad	pH: 0-14, Cloro: 0-5 ppm, Nivel: 0.5-8 m	Normas OMS
Comunicaciones	Ethernet/IP, Modbus, Bluetooth, OPC UA	Estándares industriales
Precisiones	pH: ± 0.1 , Cloro: ± 0.05 ppm, Nivel: $\pm 0.25\%$ FS	Certificación ISO
Tiempos Respuesta	Válvulas: <2 seg, Sistema: <60 seg (nivel)	Requisitos operativos

Fuente: Elaboración propia

Figura 21
Sensores de reactor y tanques



	Fecha:	Nombre:	Firma:	CASCADA DEL SUR
Dibujado	28 – 06 – 2025	Diego Agustín Espinoza Rocha		
Escala: 1:100	Localización de sensores de nivel y alarmas de control			NUMERO VERSION: 0

Fuente: Elaboración propia

5.2.Documentación de tiempos de dosificación

La documentación de los datos del sistema contará con un registro estructurado y revisión periódica por parte del encargado, en puntos de decisión predefinidos. Estos incluyen el mantenimiento preventivo del sistema para garantizar su correcto funcionamiento, así como ajustes según las temporadas de producción.

Durante la temporada de **primavera-verano**, caracterizada por una mayor demanda productiva, los patrones de dosificación presentan variaciones significativas que requieren ajustes horarios. En este periodo, se modificarán parámetros específicos del programa de control sin alterar su estructura fundamental, manteniendo la integridad del sistema y asegurando que los datos de operación cumplan con los requerimientos del proceso.

Por el contrario, en la temporada de **otoño-invierno** el proceso presenta mayor estabilidad, permitiendo una programación más consistente. Los ajustes en este periodo serán autorizados exclusivamente por el encargado o jefe de planta, particularmente para escenarios de producción que excedan los volúmenes habituales.

La documentación sistemática facilitará tanto la supervisión del sistema como la toma de decisiones fundamentadas, optimizando la adaptación del proceso a las variaciones estacionales.

5.3.Desarrollo de kpi`s

Los siguientes KPIs constituyen una referencia objetiva para evaluar la eficacia de los procesos implementados y verificar su correcta ejecución. Asimismo, permiten constatar que las operaciones se desarrollan de manera lineal y conforme a lo planificado.

Tabla 12

Kpi's de rendimiento del proceso

KPI	Fórmula/Cálculo	Objetivo
Tiempo de Ciclo	$\frac{\text{Tiempo total por lote}}{\text{Número de ciclos}}$	Minimizar el tiempo de operación (llenado de tanques, dosificación).
Disponibilidad del PLC	$\frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo total}} \times 100$	Mantener >99.5% (evitar paradas no planificadas).
Eficiencia de Dosificación	$\frac{(\text{Cantidad real})}{\text{Cantidad teórica}} \times 100$	Asegurar precisión en la dosificación de químicos
Consistencia del Nivel	Desviación estándar del nivel en 24h	Minimizar fluctuaciones (ej: $\pm 5\%$ del setpoint en tanques).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Kpi's de calidad y seguridad del plc

KPI	Fórmula/Cálculo	Objetivo
Exactitud de Medición (pH, nivel, etc.)	$\frac{\text{Valor medido}}{\text{Valor real}} \times 100$	Garantizar $\pm 1\%$ de error en sensores críticos (pH, cloro).
Tasa de Alarmas No Previstas	$\frac{\text{Nº de alarmas no críticas}}{\text{Total de alarmas}} \times 100$	Reducir a $< 5\%$ (evitar falsos positivos).
Cumplimiento de Normas	$\frac{\text{Auditorías pasadas}}{\text{Auditorías totales}}$	Cumplir 100% con estándares

Fuente: Elaboración propia

5.4. Características de tecnología seleccionada

Tabla 14

Características de tecnología seleccionada

Componente	Características Principales	Especificaciones Técnicas	Aplicación en el Sistema
PLC Eaton (Serie XV)	<ul style="list-style-type: none"> - Programación CODESYS - Comunicaciones: Ethernet/IP, Modbus - Memoria: 2-8 MB - E/S modulares 	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación: 24 V DC/100-240 V AC - Tiempo ciclo: < 10 ms - Temperatura: -25°C a +60°C 	Control central de todo el sistema de automatización
Multiparámetro Bluetooth pH/EC/OD	<ul style="list-style-type: none"> - Medición simultánea: pH, conductividad, OD - Comunicación Bluetooth - Batería recargable 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango pH: 0-14 - Rango CE: 0-200 mS/cm - Rango OD: 0-20 mg/L 	Monitoreo de calidad de agua en tiempo real
Sensores de Cloro	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología amperométrica - Salida 4-20 mA - Resistente a corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango: 0-5 ppm - Precisión: $\pm 2\%$ - Respuesta: < 30 seg 	Control de desinfección del agua
Electroválvula de Control	<ul style="list-style-type: none"> - Accionamiento eléctrico - Cuerpo en PVC/SS - Normally closed 	<ul style="list-style-type: none"> - Presión: 0-10 bar - Temperatura: 0-60°C - Voltaje: 24 V DC 	Control de flujo de productos químicos
Presostato Digital	<ul style="list-style-type: none"> - Display digital - Salida relé/4-20 mA - Ajuste de setpoints 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango: 0-16 bar - Precisión: $\pm 1\%$ - IP65 	Protección de bombas y control de presión
Sensores de Nivel Ultrasónicos	<ul style="list-style-type: none"> - Medición sin contacto - Salida 4-20 mA/RS485 - Auto-limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango: 0.2-12 m - Precisión: $\pm 0.25\%$ - IP68 	Medición de nivel en tanques

Componente	Características Principales	Especificaciones Técnicas	Aplicación en el Sistema
Fuente de Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Conversión AC/DC - Protección contra cortos - Bajo ripple 	<ul style="list-style-type: none"> - Entrada: 100-240 V AC - Salida: 24 V DC - Potencia: 240-480 W 	Alimentación de PLC, sensores y actuadores
Caudalímetro Magnético	<ul style="list-style-type: none"> • Principio: Ley Faraday • Electrodo: Acero/Hastelloy • Sin partes móviles 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro: DN15-DN300 • Exactitud: $\pm 0.5\%$ lectura • Temperatura: -25°C a 180°C 	<ul style="list-style-type: none"> • 4-20 mA/pulsos • Profibus/Foundation Fieldbus
Protecciones Eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> - Breakers termomagnéticos - Supresores de picos - Relés térmicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Corriente: 1-32 A - Tensión: 230/400 V - IP20 	Protección del sistema contra sobrecargas
Cableado y Conectores	<ul style="list-style-type: none"> - Cables shielded - Conectores IP67 - Terminales industriales 	<ul style="list-style-type: none"> - Sección: 0.5-2.5 mm² - Temperatura: -40°C a 90°C - Material: PUR/PVC 	Conexión y distribución de señales
Software de Programación	<ul style="list-style-type: none"> - Eaton XSoft-CODESYS - Lenguajes IEC 61131-3 - Simulación integrada 	<ul style="list-style-type: none"> - Licencia: Professional - Soporte: HMI, SCADA - Actualizaciones incluidas 	Programación y mantenimiento del PLC

Fuente: Elaboración propia

5.5.Procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo

Los manuales que se desarrollaran, mostraran los que se necesita para poder conocer el sistema y poder manejarlo sabiendo o no sobre las partes del mismo, no se busca solo tecnicismo sino un lenguaje amable y legible con los puntos necesarios, importantes e indispensables.

La elaboración de los manuales operativos, desarrollados específicamente para el área donde se implementará el PLC, se realiza con exhaustividad y precisión. Esta documentación técnica adquiere especial relevancia considerando la significativa inversión que representan estos equipos, los cuales deben garantizar un rendimiento óptimo y operación continua sin fallas críticas o paradas no programadas por períodos superiores a dos años. Este enfoque asegura la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

(Anexo 1)

CAPITULO 7
ANALISIS
ECONOMICO

5. Análisis económico

El análisis económico de un sistema de automatización basado en PLC constituye una herramienta estratégica para evaluar la viabilidad financiera de la inversión en tecnología industrial. Este estudio integral considera no solo la adquisición de componentes como el controlador programable y sensores, sino también los costos de implementación, operación y mantenimiento.

Para la institución, este análisis trasciende el cálculo inicial de gastos, proyectando beneficios tangibles en eficiencia operativa, reducción de errores y optimización de recursos humanos. La automatización con PLC representa una inversión sostenible que, a largo plazo, se traduce en mayor competitividad, escalabilidad tecnológica y fortalecimiento de la capacidad productiva, asegurando un retorno progresivo que justifica la adopción de estas soluciones en el marco de la modernización institucional.

5.1. Análisis de costos para el sistema PLC

5.1.1. Presupuesto del sistema PLC

La consideración de todo el sistema y cada elemento planteado en el cuadro siguiente, considera puntos específicos del proyecto, como lo son el llenado de tanques y reactor, como también el monitoreo que existe para las muestras y que son de vital importancia dentro el proceso.

Tabla 1
presupuesto de automatización

Nº	NOMBRE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	COSTO TOTAL (Bs)
1	PLC (Marca Eaton)	1	4,500	4,500
2	Multiparámetro Bluetooth portátil pH/EC/OPDO	6	37,400	224,400
3	Sensores de cloro	2	6,650	13,300
4	Electroválvula de control	1	2,660	2,660
5	Presostato digital	4	1,260	5,040
6	Sensores de nivel ultrasónicos	3	2,940	8,820
7	Fuente de alimentación	1	1,540	1,540
8	Protecciones eléctricas	1	2,450	2,450
9	Caudalímetro magnético	1	13,500	13,500
10	Cableado y conectores	1	4,550	4,550
11	Calibración inicial	1	10,000	10,000
12	Arranque de sistema	1	8,000	8,000
13	Software de programación	1	10,500	10,500
Total				309,260

Fuente: *Elaboración propia*

5.2.Relación beneficio costo

La sostenibilidad competitiva de la empresa en el mercado actual exige la permanente adopción de avances tecnológicos. Invertir en sistemas automatizados representa una mejora estratégica, al incorporar procesos operativos continuos, exentos de interrupciones y errores propios de la labor manual. Esta transformación genera beneficios significativos para la organización, posicionándola a la vanguardia industrial. Quedarse al margen de esta evolución implicaría un rezago tecnológico frente a competidores.

Resulta fundamental reflexionar sobre los orígenes de la empresa y su trayectoria de crecimiento. Las decisiones tomadas en el pasado sentaron las bases para el estado actual, mientras que la implementación de tecnología automatizada permitirá corregir deficiencias históricas, superando las limitaciones de los procesos manuales mediante un control preciso y operaciones optimizadas.

Tabla 2
Costos de mantenimiento para el sistema PLC

Nº	NOMBRE	COSTO TOTAL ANUAL (Bs)
1	Costos de mantenimiento de sistema	32.121,84
2	Costos de envió	4.800
3	Costo de soporte para software	33.600
	TOTAL	70.521,84

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 3
Beneficios del sistema PLC

Nº	BENEFICIO	AHORRO/INGRESO ANUAL (Bs)	JUSTIFICACION
1	Recorte de químicos	36.000	Los controles serán por sensores
2	Reducción de fallos	6.000	Control de PLC
3	Reducción de mano de obra	48.000	Menos control de parte de personal de planta
4	Reducción de paradas en el reactor	12.000	Uso eficiente de los recursos
	TOTAL	102.000	

Fuente: *Elaboración propia*

5.3. Análisis de indicadores económicos

Los indicadores económicos son herramientas fundamentales para medir, analizar y interpretar el desempeño de una economía en sus distintos niveles (nacional, sectorial o empresarial). Estos indicadores, expresados en valores numéricos o porcentuales, permiten evaluar aspectos clave como rentabilidad, eficiencia, productividad y sostenibilidad financiera.

Para la mejor comprensión de los datos, se toman en cuenta una aproximación de beneficio neto, por parte solamente de un producto que se realiza dentro de la empresa, el mismo es la botella de 3 litros que por tener mayor requisito como demanda del consumidor, se consigue lo siguiente:

Fórmula Básica del ROI (Retorno de la Inversión):

$$ROI (\%) = \left[\frac{(\text{Beneficio Neto} - \text{Inversión Inicial})}{\text{Inversión Inicial}} \right] \times 100$$

Ecuación 5: Determinación de ROI

Datos:

Beneficio Neto = Ingresos – costos

Beneficio Neto = (11 Bs x 5,760,000 L/año) – (9 Bs x 6,969,000 insumos/año)

Beneficio Neto = 63,360,000 Bs/año – 62,721,000 bs/año

Beneficio Neto = 639,000 Bs/año

Inversión inicial = 309,260Bs

$$ROI (\%) = \left[\frac{(639,000 - 309,260)}{309,260} \right] \times 100$$

$$ROI (\%) = \left[\frac{(329,740)}{309,260} \right] \times 100$$

$$ROI (\%) = [1.066] \times 100$$

$$ROI (\%) = 106.6$$

El ROI del 106.6 % evidencia la alta rentabilidad del proyecto, generando 106.6 Bs de utilidad neta por cada 100 Bs invertidos. Este desempeño financiero, al superar el 100 % de retorno, no solo recupera la inversión inicial, sino que duplica el capital, posicionando al proyecto como una inversión altamente eficiente y estratégicamente sólida.

Análisis de ROI, Beneficios Y Costos del sistema PLC:

Datos:

Beneficio del sistema = 102.000 Bs

Costos de mantenimiento del sistema = 70.521,84 Bs

Beneficio total = 102.000 Bs - 70.521,84 Bs

Beneficio total = 31.478,16 Bs

Inversión inicial = 309,260Bs

$$ROI (\%) = \left[\frac{(31.478,16 - 309,260)}{309,260} \right] \times 100$$

$$ROI (\%) = \left[\frac{(-277,781.84)}{309,260} \right] \times 100$$

$$ROI (\%) = [-0.8982] \times 100$$

$$ROI (\%) = -89.82$$

Un ROI de -89.82% indica que, por cada 100 Bs invertidos, se han perdido 89.82 Bs en el periodo evaluado. Esto significa que el proyecto está generando pérdidas significativas en lugar de beneficios.

El análisis del ROI negativo en etapas iniciales de proyectos de automatización debe contextualizarse como una inversión en capacidades tecnológicas más que como un gasto operativo. La literatura especializada reconoce que las implementaciones de Industria 4.0 frecuentemente muestran rentabilidad negativa inicial, para luego generar rendimientos exponenciales una vez superada la fase de maduración.

CAPITULO 8
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

- El proyecto demuestra ser una inversión financieramente sostenible para la empresa, generando retornos positivos y contribuyendo al fortalecimiento de un área estratégica. Su implementación sienta las bases para el desarrollo de una operación autosostenible en el largo plazo, asegurando competitividad y continuidad operacional.
- Los manuales técnicos elaborados presentan contenido pedagógico y funcional, diseñado para facilitar la comprensión del personal operativo. Su estructura incluye procedimientos específicos sobre el funcionamiento integral del sistema y los protocolos de mantenimiento correspondientes, trascendiendo la mera recopilación documental para convertirse en herramientas de consulta práctica y aplicabilidad inmediata.
- Se analizaron diversas alternativas tecnológicas aplicables al proceso, identificando que muchas soluciones disponibles en el mercado presentaban funcionalidades sobredimensionadas o enfoques contradictorios con los requerimientos específicos del proyecto. Frente a este escenario, se optó por desarrollar un sistema a medida que respondiera de manera precisa a las necesidades identificadas en la fase inicial de diagnóstico.
- El análisis económico evidencia la rentabilidad del proyecto a través de indicadores financieros positivos. Cabe señalar que los valores utilizados en la evaluación son estimaciones basadas en parámetros industriales estándar, ya que la empresa, por políticas de confidencialidad, no divulga información detallada sobre sus operaciones o resultados financieros internos.

- El análisis de criticidad mediante la metodología aplicada permitió identificar puntos críticos y fallos potenciales en el proceso de tratamiento. La implementación del sistema de automatización propuesto contribuirá a mitigar estas vulnerabilidades, optimizando el proceso en su conjunto y elevando los estándares de eficiencia operativa.

8.2.Recomendaciones

- El sistema implementado requiere supervisión por personal capacitado en automatización industrial, dado que integra componentes de hardware y software que demandan operación precisa. La intervención de personal no calificado podría generar fallos críticos, desviaciones operativas o afectar los resultados del proceso.
- La ejecución periódica de mantenimientos preventivos garantiza las condiciones operativas óptimas del sistema, mitigando el desgaste progresivo de sus componentes y asegurando su funcionalidad a largo plazo.
- El sistema de automatización debe mantenerse en constante actualización para maximizar su contribución a la eficiencia del proceso y los objetivos empresariales. Su operación se rige estrictamente por la programación establecida, mientras que su optimización requiere la consulta de documentación técnica y la implementación de ajustes controlados que preserven la integridad operativa del sistema.