

Mejora de funcionamiento y procesamiento de información en planta de tratamiento de
aguas servidas

Trabajo para optar al Título profesional de Ingeniería de
Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Alumno:
Cristopher Alejandro Vásquez Pinto.

Profesor Guía:
Nelson Artemio Vasquez Concha.

Resumen

El proyecto se centra en la **optimización del funcionamiento y procesamiento de información en una planta de tratamiento de aguas servidas**, con el objetivo de reducir costos operativos y mejorar la eficiencia energética y de mantenimiento. La planta opera con **dos bombas elevadoras (1.5 HP cada una)** y un **motor soplador (3 HP)**, los cuales representan el principal consumo eléctrico y requieren un mantenimiento periódico que impacta significativamente en el presupuesto anual.

Mediante la implementación de tecnologías como **Ubidots** para el monitoreo remoto y la visualización de datos operativos, junto con herramientas como **Node-RED** para la automatización y análisis de procesos, se busca optimizar la gestión de la planta.

Se concluye que, con una adecuada gestión y optimización, es posible reducir los costos operativos anuales y prolongar la vida útil de los equipos, generando un impacto positivo tanto económico como ambiental.

Contenido

Resumen 2

Contenido 3

Índice de Imágenes 4

Introducción..... 5

Marco teórico..... 6

Descripción del problema..... 8

Propuesta de solución..... 10

 Instrumentación en Puntos Críticos de la Planta 10

 Bombas de Elevación con Mantenimientos al Día 11

 Definición de objetivos 12

Capítulo 1: Diseño de sistema de adquisición y transmisión de datos para parámetros relevantes. 13

 FACTORY IO: Estructura de maqueta virtual. 22

 ECO STRUXURE.: Estructura de la Lógica de Funcionamiento 24

 NODE-RED: Estructura de comunicación de datos. 31

 UBIDOTS: gestión de datos y recepción de información operacional. 35

Capítulo 2: Optimización de funcionamiento de planta de acuerdo a parámetros medidos. 38

 Datos relevantes sobre operación de planta existente. 39

 Contexto Operativo 39

 Diagnóstico y Problemas Identificados 39

 Parámetros analizados 40

 Resultados Esperados de la Optimización 43

 Valores analizados por KPI 44

 Estudio económico 45

 Comparativa de costos planta actual y planta automatizada. 45

6. Conclusión del Proyecto de Título..... 50

 6.1 Principales Logros 50

 6.2 Recomendaciones 51

Linkografía. 52

Índice de Imágenes

Imagen 1 Descripción de problema: Árbol de problemas. 8

Imagen 2, Propuesta solucion: Arbol de soluciones. 10

Imagen 3: Sensor de oxígeno disuelto Oxymax COS61D 15

Imagen 4: Sensor de pH Memosens CPS11E 16

Imagen 5: Analizador de red Circutor CVM-C10 17

Imagen 6: Transmisor de oxígeno y pH CM448 18

Imagen 7 Capitulo 1: Diagrama de flujo funcionamiento de planta 21

Imagen 8: Capitulo 1, Estructura de programación Factory IO..... 23

Imagen 9, Capitulo 1: Rung de llenado de piscina. 25

Imagen 10: Capitulo 1: Rung de vaciado de piscina..... 26

Imagen 11:Capitulo 1: Rung de control de niveles 26

Imagen 12: Capitulo 1: Rung de simulación de aumento de pH. 27

Imagen 13 Capitulo 1: Rung de simulación de reducción de pH. 27

Imagen 14, Capitulo 1: Rung de simulación de corriente de operación y sobre corriente..... 28

Imagen 15, Capitulo 1: Rung de detección y alarma de bajo y sobre nivel de agua. 28

Imagen 16:Rung de alarma sobre demanda por tiempo de trabajo equipos. 29

Imagen 17: Rung de registro de horas de operación 29

Imagen 18: Entrega de datos a contador en Factory IO 29

Imagen 19: Capitulo 1: bloques de recepción de datos de operación de equipos en Node-red.
..... 31

Imagen 20, Capitulo 1: Estructura general de procesamiento de datos Node-red..... 32

Imagen 21, Capitulo 1: Estructura de Dashboard Node-red..... 32

Imagen 22 Capitulo 1: configuración de nodo Modbus-Getter. Recepción de datos. 33

Imagen 23, Capitulo 1: Identificación de paleta de nodos Ubidots para Node-red. 35

Imagen 24 Capitulo 1: Configuración de nodo Ubidots_out..... 36

Imagen 25, Capitulo 1: Identificación de dispositivo existente Ubidots..... 36

Imagen 26, Capitulo 1: Visualización de variables en Ubidots..... 37

Imagen 27, Capitulo 1: Dashboard corrientes de funcionamiento. Ubidots..... 37

Índice de tablas

Tabla 1, Capitulo 2: Costos de mantención planta actual 46

Tabla 2, Capitulo 2: Costos de mantención planta optimizada. 47

Tabla 3, Capitulo 2: Costos de mejora 49

Introducción

La depuración de aguas servidas en una planta de tratamiento generalmente se divide en varias etapas, cada una diseñada para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de su descarga o reutilización.

Las etapas se explican a continuación:

1. Pretratamiento:

- **Rejillas:** Se instalan rejillas para eliminar objetos grandes como plásticos, madera y otros desechos que puedan dañar el equipo.
- **Desarenado:** Se utiliza un sistema de sedimentación para eliminar arena y partículas pesadas que pueden afectar el proceso.

2. Tratamiento Primario:

- **Sedimentación:** El agua se deja en tanques de sedimentación donde las partículas sólidas más grandes se hunden al fondo, formando lodos. Este proceso reduce la carga de sólidos en el agua.

3. Tratamiento Secundario:

- **Biológico:** Se utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica disuelta en el agua. Esto puede hacerse mediante:
 - **Lodos activados:** En este sistema, se airea el agua para fomentar el crecimiento de bacterias que consumen la materia orgánica.
 - **Sedimentación secundaria:** Después del tratamiento biológico, el agua pasa a un segundo tanque de sedimentación donde se separa el lodo activado del agua tratada.

4. Tratamiento Terciario:

- En esta etapa se realizan procesos adicionales para eliminar nutrientes (nitrógeno y fósforo), sólidos suspendidos, y otros contaminantes. Puede incluir:
 - **Filtración:** Para remover partículas finas.
 - **Desinfección:** Uso de cloro, ozono o luz ultravioleta para eliminar patógenos.

5. Gestión de Lodos:

- Los lodos generados durante el proceso de sedimentación son tratados, deshidratados y, en muchos casos, se pueden utilizar como fertilizante (este proceso está normado por el Decreto Supremo N° 4/2009.¹

6. Reutilización o Disposición Final:

- Finalmente, el agua tratada puede ser reutilizada para riego, procesos industriales o devuelta a cuerpos de agua, cumpliendo con las normativas ambientales. (Nch 1333², habla sobre requisitos de calidad de agua para diferentes usos)

7. Cada planta puede variar en sus tecnologías y procesos específicos, pero estas son las etapas fundamentales en la depuración de aguas servidas.

¹ Detalle incluido en [Anexo 1](#).

² Detalle incluido en [Anexo 2](#).

Marco teórico

Inicio y primeras iniciativas (siglo XIX - principios del XX):

Siglo XIX:

Durante este período, la urbanización de ciudades como Santiago y Valparaíso comenzó a generar problemas asociados a la disposición de aguas servidas. La falta de sistemas de saneamiento adecuados provocó epidemias de enfermedades como el cólera y el tífus.

Primeros sistemas de alcantarillado:

En el último cuarto del siglo XIX, comenzaron a implementarse sistemas de alcantarillado en ciudades principales, pero las aguas residuales se vertían directamente en ríos, canales o el mar, sin tratamiento alguno.

Desarrollo de infraestructura básica (mediados del siglo XX):

1930-1950:

Con el crecimiento urbano y la necesidad de mejorar las condiciones sanitarias, el Estado comenzó a invertir en infraestructura de saneamiento. Sin embargo, el tratamiento de aguas servidas era limitado y rudimentario.

Creación de la Dirección de Obras Sanitarias (DOS)

En 1977, se creó la DOS, que centralizó la gestión del agua potable y alcantarillado. Esto marcó un punto de partida para la planificación y el desarrollo de plantas de tratamiento.

Auge del tratamiento de aguas residuales (décadas de 1990 y 2000):

Privatización del sector sanitario (1990):

Durante esta década, se implementaron reformas que permitieron la entrada de empresas privadas al sector sanitario, bajo regulación estatal. Estas empresas invirtieron en la construcción de plantas de tratamiento modernas.

Plan Nacional de Saneamiento:

Este plan buscó aumentar significativamente la cobertura de tratamiento de aguas servidas en el país. En 1998, solo el 17% de las aguas servidas eran tratadas; para 2010, la cifra alcanzó el 90%.

Grandes proyectos:

Se construyeron plantas importantes, como la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana (inaugurada en 2003) y El Trebal (inaugurada en 2001), ambas en la Región Metropolitana. Estas instalaciones utilizaron tecnologías avanzadas como lodos activados y digestión anaerobia para producir biogás.

Situación actual y desafíos futuros (2010-presente):

Cobertura casi total:

Chile alcanzó casi el 100% de cobertura en tratamiento de aguas servidas, convirtiéndose en un referente en América Latina. Las plantas actuales no solo tratan aguas residuales, sino que también aprovechan subproductos como energía y fertilizantes.

Sostenibilidad y cambio climático:

Las plantas enfrentan desafíos relacionados con la sostenibilidad, como la gestión eficiente de recursos, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la reutilización de aguas tratadas para riego o uso industrial.

Innovación y tecnología:

Se están incorporando tecnologías como sistemas de monitoreo, inteligencia artificial y procesos de economía circular para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Impacto en la salud pública y el medio ambiente:

El desarrollo de plantas de tratamiento ha sido clave para reducir enfermedades de origen hídrico, proteger los ecosistemas acuáticos y mejorar la calidad de vida de la población chilena.

Descripción del problema.

Actualmente, una planta de tratamiento de aguas servidas, cuenta con un funcionamiento que no considera retroalimentación, operando con un sistema automático básico en base a tiempos de trabajo, accionando equipos sin un tiempo determinado de funcionamiento, dependerá solamente de la planta, el operador y el caudal que ingresa. De acuerdo a un estudio podemos desglosar las problemáticas en un árbol de problemas representado en la Imagen 1.

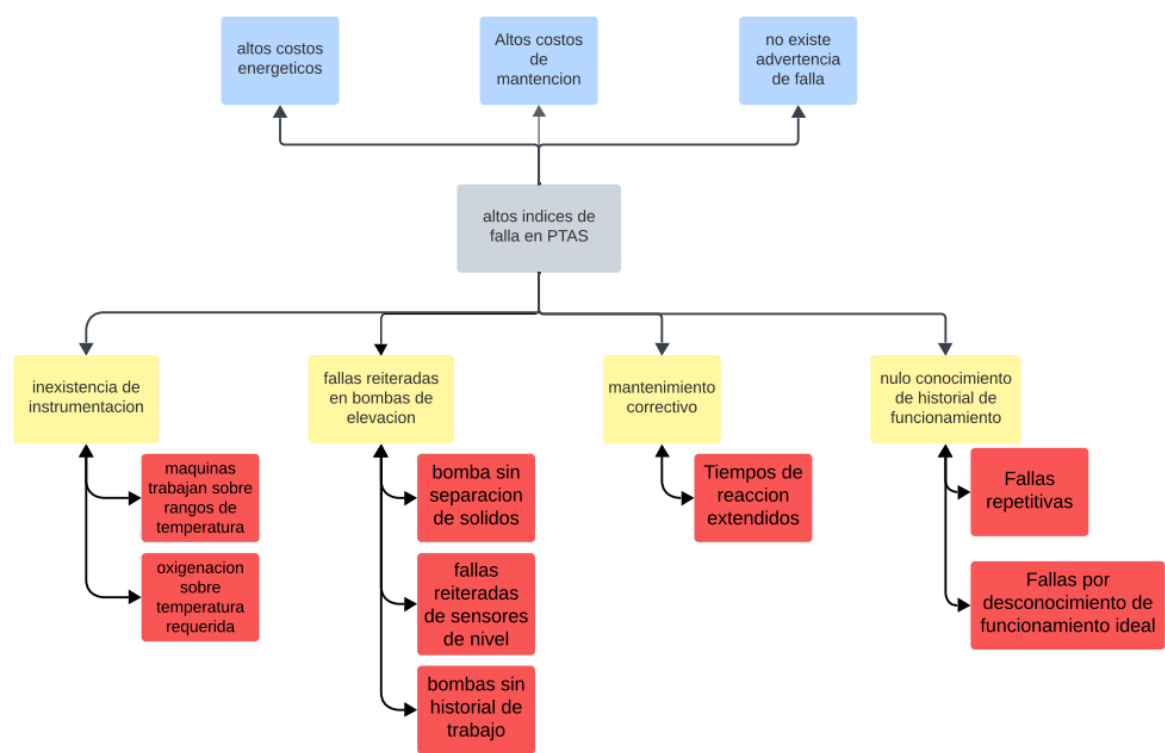


Imagen 1 Descripción de problema: Árbol de problemas.

Dentro de las causas más relevantes que se pueden identificar y que serán abordados en este proyecto, son las siguientes:

- Inexistencia de instrumentación.
- Fallas reiteradas en bombas de elevación.
- Mantenimiento correctivo
- Nulo conocimiento de historial de funcionamiento

Inexistencia de Instrumentación

La ausencia de instrumentación adecuada en la planta de tratamiento de aguas servidas limita la capacidad para medir y controlar parámetros clave, como pH, oxígeno disuelto y temperatura. Esto genera los siguientes inconvenientes:

- Operación manual o basada en estimaciones, lo que incrementa la posibilidad de errores.
- Falta de datos para optimizar el proceso.
- Imposibilidad de implementar sistemas de automatización y control efectivo.

Fallas Reiteradas en Bombas de Elevación

Las bombas de elevación son componentes críticos para garantizar el flujo continuo del agua dentro de la planta. Sin embargo, la falta de monitoreo y mantenimiento adecuado provoca fallas recurrentes, generando:

- Interrupciones en el tratamiento, que pueden llevar al incumplimiento de normativas ambientales.
- Incremento de costos asociados al reemplazo frecuente de componentes o a reparaciones de emergencia.
- Aumento del tiempo de inactividad operativa, afectando la capacidad de tratamiento.

Mantenimiento Correctivo

La planta opera predominantemente bajo un esquema de mantenimiento correctivo, es decir, se actúa solo cuando ocurre una falla. Esto implica:

- Costos operativos más altos, ya que las intervenciones de emergencia suelen ser más costosas que las programadas.
- Mayor desgaste de los equipos debido a la falta de un mantenimiento preventivo planificado.
- Riesgo de daños irreversibles en componentes clave, lo que compromete la continuidad operativa de la planta.

Nulo Conocimiento del Historial de Funcionamiento

La falta de instrumentación y registro de datos históricos impide contar con un historial confiable del funcionamiento de la planta, lo que genera:

- Dificultades para diagnosticar problemas recurrentes o prever fallas.
- Ausencia de información para analizar tendencias o patrones de desempeño, limitando las oportunidades de mejora continua.
- Falta de trazabilidad, lo que puede ser problemático frente a auditorías regulatorias o normativas.

Propuesta de solución.

El enfoque para minimizar el índice de fallas en la planta de tratamiento de aguas servidas y optimizar su funcionamiento debería abordar cada área identificada en el árbol de soluciones representado en la Imagen 2 de manera integrada:

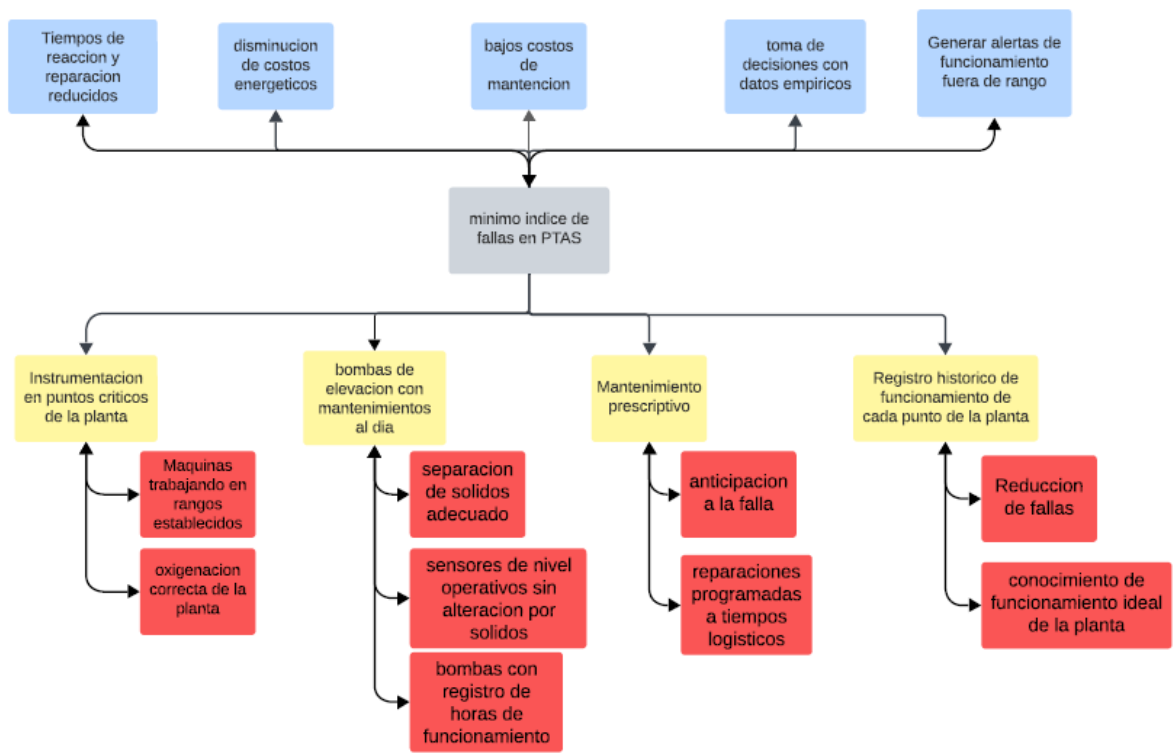


Imagen 2, Propuesta solucion: Arbol de soluciones.

Instrumentación en Puntos Críticos de la Planta

Implementar un sistema de instrumentación que permita monitorear los parámetros clave en puntos estratégicos, como:

- Oxigenación: Sensores de oxígeno disuelto para garantizar la eficiencia de los procesos biológicos.
- pH y Temperatura: Sensores para monitorear las condiciones del agua durante el tratamiento.
- Caudal y Nivel: Sensores que aseguren un flujo constante y eviten desbordes.

Impacto esperado:

- Las máquinas trabajarán dentro de los rangos establecidos, evitando desgaste innecesario.
- Mejor control del proceso de oxigenación, optimizando la calidad del tratamiento.

Bombas de Elevación con Mantenimientos al Día

Implementar un sistema de mantenimiento preventivo y predictivo para las bombas de elevación:

- Registro de horas de funcionamiento: Instalar contadores y sistemas de monitoreo para rastrear las horas operativas de cada bomba.
- Separación de sólidos adecuada: Mejorar las etapas de filtrado previo para evitar la acumulación de sólidos en las bombas.
- Sensores de nivel operativos: Garantizar que los sensores funcionen correctamente y no estén obstruidos por sólidos.

Impacto esperado:

- Reducción de fallas mecánicas en las bombas.
- Mayor eficiencia en la separación de sólidos, evitando interrupciones en el proceso.

Diseñar e implementar un sistema que registre el historial operativo de cada punto crítico de la planta:

- **Plataforma centralizada:** Utilizar herramientas como *Node-RED* y *Ubidots* para registrar y analizar los datos en la nube.
- **Visualización de tendencias:** Crear Dashboard que muestren gráficas y alertas basadas en los datos históricos.
- **Almacenamiento seguro:** Configurar bases de datos confiables para almacenar información clave.

Impacto esperado:

- Reducción de fallas gracias al análisis predictivo de patrones de funcionamiento.
- Mejor comprensión del comportamiento ideal de la planta, facilitando ajustes y optimizaciones continuas.
- Integración y Automatización

Para implementar estas soluciones, se propone integrar todas las áreas en un sistema SCADA centralizado utilizando las herramientas disponibles:

- *Factory IO*: Para modelar y simular los escenarios antes de aplicarlos en la planta.
- *Ecostruxure Machine Expert*: Para programar la lógica de control y comunicación entre sensores, actuadores y la nube.
- *Node-RED*: Para la gestión de datos y creación de alertas.
- *Ubidots*: Para la visualización y análisis de datos operativos en la nube

Definición de objetivos

Por lo tanto, de acuerdo con la propuesta de solución, el proyecto se estructura en torno a los siguientes objetivos principales, los cuales guiarán su desarrollo y permitirán alcanzar los resultados esperados de manera efectiva:

Objetivo General

- **Minimizar el costo operacional de la planta de tratamiento de aguas servidas**, logrando una operación más eficiente, sostenible y acorde con las demandas actuales en términos de productividad y gestión ambiental.

Objetivos Específicos

- **Diseñar un sistema de adquisición y transmisión de datos** que permita monitorear los parámetros clave del proceso, asegurando la precisión y confiabilidad de la información para la toma de decisiones.
- **Optimizar el funcionamiento integral de la planta** mediante la implementación de estrategias basadas en el análisis de los parámetros medidos, mejorando la eficiencia energética, reduciendo el consumo de insumos y maximizando la capacidad de tratamiento.

Estos objetivos representan los pilares fundamentales del proyecto y serán abordados en detalle en las secciones siguientes, considerando tanto las metodologías utilizadas como los resultados esperados.

Capítulo 1: Diseño de sistema de adquisición y transmisión de datos para parámetros relevantes.

Introducción.

El diseño de un sistema de adquisición y transmisión de datos en una planta de tratamiento de aguas servidas es esencial para garantizar el monitoreo continuo y preciso de los parámetros críticos que determinan la calidad del proceso. Este sistema permite centralizar la información, facilitando la toma de decisiones y asegurando el cumplimiento de normativas medioambientales. En este apartado, se aborda el diseño del sistema enfocado en la captura, procesamiento y transmisión de datos de parámetros relevantes tanto parámetros eléctricos como parámetros biológicos.

Parámetros eléctricos.

Los parámetros eléctricos son relevantes para la elaboración del programa de mantenimiento, chequeo de operación, reducción de fallas y optimización de costos operacionales, a continuación, se presentan los parámetros relevantes a medir.

- Corriente de funcionamiento
- Tensión
- Potencia
- Tiempo de trabajo

Parámetros biológicos.

- PH de agua.
- Temperatura de agua
- Porcentaje de oxigenación de la planta

Selección de Sensores y Equipos

Los sensores seleccionados deben cumplir con estándares de precisión, durabilidad y compatibilidad con el entorno industrial de la planta.

- **Sensores de oxígeno disuelto:** Oxymax COS61D/COS61³
- **Sensores de pH:** Memosens CPS11E⁴
- **Sensores de temperatura:** Memosens CPS11E
- **Analizador de red:** Circutor CVM-C10-FLEX-IN-485-I2⁵
- **Transmisor oxígeno y pH:** Liquiline CM442/CM444/CM448

³ Información técnica en [anexo 3](#).

⁴ Información técnica en [anexo 4](#).

⁵ Información técnica en [anexo 5](#)

Sensores de oxígeno disuelto: Oxymax COS61D/COS61

Sensor óptico digital basado en el principio de la desactivación fluorescente, con o sin protocolo Memosens



Imagen 3: Sensor de oxígeno disuelto Oxymax COS61D

Aplicación

- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Medición de oxígeno y regulación en la balsa de fangos activados para un proceso de limpieza biológico muy eficiente
- Monitorización del contenido de oxígeno en la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales
- Tratamiento de aguas

Medición de oxígeno para la monitorización de estado, p.ej. de agua para consumo (enriquecimiento de oxígeno, protección contra la corrosión, etc.)

Medición de oxígeno y regulación para optimizar las condiciones de vida y crecimiento

Ventajas

- Tecnología óptica:
- Mantenimiento mínimo
- Sensor con procesamiento digital de la señal:
- Datos de calibración guardados en el sensor
- Alto grado de protección en lo relativo a la compatibilidad electromagnética (EMC) gracias a que la comunicación con el transmisor es digital
- Ampliación de los intervalos de mantenimiento y alto grado de estabilidad a largo plazo
- Auto monitorización inteligente que garantiza la fiabilidad de los valores medidos

Sensores de pH: Memosens CPS11E

Electrodo para pH Memosens 2.0 para aplicaciones básicas en las industrias de tratamiento de aguas y aguas residuales



Imagen 4: Sensor de pH Memosens CPS11E

Ventajas

Listo para IIoT: Memosens 2.0 ofrece una capacidad ampliada para el almacenaje de los datos de calibración y proceso, que le permite una mejor identificación de tendencias y le proporciona una base de mantenimiento predictivo y servicios mejorados IIoT preparada para el futuro.

Electrodo resistente y de bajo mantenimiento: un recorrido de difusión largo de las partículas de suciedad o una trampa de iones optimizada previenen el ensuciamiento del electrodo de referencia. Un gran diafragma de PTFE anti suciedad protege el producto de ensuciamiento.

Analizador de red: Circutor CVM-C10-FLEX-IN-485-I2

Analizador de redes compacto y versátil con medida en 4 cuadrantes (Consumo y Generación) adecuado para instalaciones de Alta, Media y Baja tensión ya que permite altas relaciones de transformación en tensión y corriente hasta 2.000 Amperes. Medida de corriente mediante sensores flexibles tipo Rogowski.



Imagen 5: Analizador de red Circutor CVM-C10

Analizador de redes panel 96 x96 compatible con pinzas flexibles

> Protocolo: Modbus/RTU | BACnet

> Comunicaciones: RS-485

> Entradas digitales: 2

> Canales de medida de corriente: 4

Transmisor oxígeno y pH: CM448

Transmisor multiparámetro con un máximo de ocho canales de medición basados en tecnología digital Memosens para procesos de monitorización y control en la industria y en el sector medioambiental



Imagen 6: Transmisor de oxígeno y pH CM448

Aplicación

- Aguas limpias y residuales
- Centrales de energía
- Industria química
- Otras aplicaciones industriales

Ventajas

- Muy flexible:
- Capaz de conectar hasta 8 sensores Memosens
- Las funciones matemáticas calculan nuevos valores medidos
- Buses de campo digitales (HART, PROFIBUS, Modbus, Ethernet/IP, PROFINET) y servidor web integrado
- Elección de la función de limpieza, controlador y relé de alarma
- Salidas/entradas digitales o analógicas opcionales
- Seguridad de proceso máxima gracias al concepto operativo estandarizado en todos los equipos de la plataforma del Liquiline, toma muestras y analizador
- Puesta en marcha rápida gracias a:
- Memosens: sensores calibrados en laboratorio y plug-andplay en caliente
- Transmisores Liquiline preconfigurados
- Expansión y adaptación fácil

Memosens 2.0: tecnología de sensores de última generación

La tecnología Memosens revoluciona la tecnología de análisis de líquidos. Convierte el valor medido en una señal digital y la transfiere de forma inductiva al transmisor, eliminando los problemas asociados a la humedad. Con alarmas de señal en caso de interrupción de la transmisión, Memosens ofrece una transferencia de datos segura para una mayor disponibilidad del punto de medición y procesos sin problemas. Con Memosens 2.0, los puntos de medición están completamente preparados para el futuro y para el IIoT.

Ventajas

Conectada: Memosens 2.0 ofrece un almacenamiento ampliado de los datos de calibración, de los sensores y del proceso. Facilita una mejor identificación de tendencias, una gestión de procesos más precisa y proporciona una base preparada para el futuro para el mantenimiento predictivo y los servicios IIoT.

Integración perfecta: Memosens 2.0 y Liquiline ofrecen numerosos protocolos, interfaces y comunicación por bus para una rápida integración en las infraestructuras existentes y la gestión de activos de la planta

Segura: La transmisión digital de datos sin contacto elimina los efectos de la humedad, la corrosión y los puentes salinos con mensajes de advertencia si se altera la transmisión de la señal. El aislamiento galvánico garantiza una medición sin interferencias y la seguridad EMC.

Sencilla: La calibración en condiciones favorables de laboratorio, el conector de bayoneta bloqueable y el verdadero plug & play hacen que el manejo del sensor sea muy sencillo.

Reducción de los costes operativos: El intercambio de sensores in situ mediante sensores precalibrados reduce el tiempo de inactividad del proceso y la regeneración periódica prolonga la vida útil del sensor.

Lógica de funcionamiento de planta.

El funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas servidas sigue una secuencia lógica que asegura el adecuado procesamiento del agua desde su ingreso hasta su salida. Esta lógica se detalla a continuación:

Etapas 1: Pretratamiento

- El flujo de agua servida ingresa a la planta y pasa por la primera etapa, enfocada en el pretratamiento.
- En esta etapa, se monitorea el nivel de la piscina:
 - Si el nivel es bajo, se activa la **Bomba 1** para mantener el flujo constante.
 - Si el nivel es alto, la **Bomba 1** se desactiva para evitar sobrellenado.

Etapas 2: Tratamiento Biológico

- El agua pretratada avanza hacia el área de tratamiento biológico.
- En esta etapa, se controla el nivel de la planta:
 - Si el nivel es bajo, se activa la **Bomba 2** para aumentar el volumen procesado.
 - Si el nivel es alto, la **Bomba 2** se desactiva para evitar sobrellenado.

Oxígeno Disuelto

- Durante el tratamiento biológico, se monitorea el nivel de oxígeno disuelto en el agua:
 - Si el nivel de oxígeno es bajo, se activa el **Soplador** para aumentar la oxigenación.
 - Si el nivel de oxígeno es alto, se desactiva el **Soplador** para ahorrar energía.
 - Además, se controla la temperatura del oxígeno, asegurando un funcionamiento normal dentro de los parámetros establecidos.

Control de pH del Agua

- En la etapa final del tratamiento, el pH del agua se mide para garantizar su calidad:
 - Si el pH está dentro del rango establecido, el agua tratada es enviada a la **Bomba de salida** para su descarga.
 - Si el pH está fuera de rango, se activa el **Clorador** para ajustar la calidad del agua antes de su salida.

Etapas Final: Decantación y Salida del Agua Depurada

- El agua tratada pasa por un proceso de decantación antes de ser descargada como agua depurada.

Este esquema asegura que cada etapa del tratamiento se realice de manera óptima, manteniendo la calidad del agua dentro de los parámetros requeridos y optimizando el uso de los recursos disponibles.

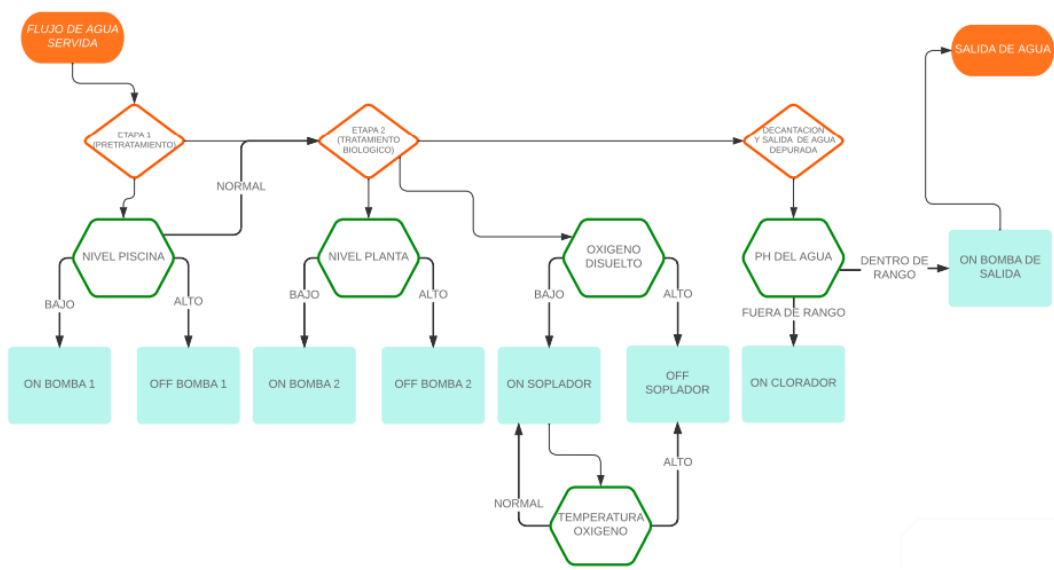


Imagen 7 Capítulo 1: Diagrama de flujo funcionamiento de planta

FACTORY IO: Estructura de maqueta virtual.

Objetivo del programa

En el entorno de *Factory IO*, se desarrolló una maqueta virtual que simula el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas servidas. Esta maqueta incluye sensores, actuadores y lógica de control que emulan las condiciones reales de operación.

Sensores

- Medición de caudal: Representado por los sensores *CAUDAL BOMBA (1)* y *CAUDAL BOMBA (2)*.
- Nivel de estanques: Controlado por los sensores *NIVEL ESTANQUE (1)* y *NIVEL ESTANQUE (2)*.
- Estado de operación: Sensores para monitorear el estado de los equipos, como *FUNCIONAMIENTO SOPLADOR* y *ALARMAS*.

Actuadores

- Bombas: *DESCARGA BOMBA (1)* y *DESCARGA BOMBA (2)*.
- Alarmas: Alarmas de tiempo, fallas en bombas y soplador.
- Válvulas y controles manuales o automáticos para regular el proceso.

Lógica de Control

- Configuración de estados manual y automático para operar la planta.
- Inclusión de paradas de emergencia y reinicios (*Reset*).

Configuración del Driver Modbus TCP/IP Client

La maqueta está configurada para comunicarse con *Ecostruxure Machine Expert* a través del protocolo Modbus TCP/IP. Este protocolo permite transmitir datos entre los sensores/actuadores simulados en *Factory IO* y el PLC virtual.

- **Servidor:** La dirección del servidor se establece en 192.168.1.221 ya que se estará simulando con un plc físico para evitar problemas de conectividad con los programas.
- **Mapeo de Variables:**
 - Las bobinas (Coils) son utilizadas para variables binarias como estados de activación/desactivación de equipos.
 - Los registros (Holding Registers) permiten la lectura de valores analógicos como niveles y caudales.

Mapeo de Entradas y Salidas

El siguiente mapeo correlaciona las variables simuladas en *Factory IO* con las direcciones de memoria utilizadas en *Ecostruxure Machine Expert*:

- **Entradas:**
 - *Coil 6*: Manual
 - *Coil 7*: Automático
 - *Holding Reg 101*: Nivel de estanque (1)
 - *Holding Reg 103*: Nivel de estanque (2)
- **Salidas:**
 - *Input Reg 15*: Funcionamiento Soplador.
 - *Input Reg 50*: Bomba (1).
 - *Input Reg 52*: Bomba (2).
 - *Input Reg 56*: Bomba (3).

Este mapeo asegura que los datos relevantes sean capturados y procesados correctamente.

Flujo Completo de Datos

- **Generación de Datos en Factory IO:**
 - Los sensores generan datos, como niveles de estanques.
 - Los actuadores responden a las señales de control enviadas por el PLC.
- **Transmisión al PLC mediante Ecostruxure Machine Expert:**
 - Los datos de sensores son transmitidos al PLC virtual para procesar la lógica de control.
 - Las salidas del PLC activan actuadores como bombas y alarmas.

Servidor: 127.0.0.1:502 Esclavo ID:1			
PARAR LLENADO 1	Coil 0	Input 10	LPR1
PARAR SOPLADOR	Coil 1	Input 11	LPV1
PARAR LLENADO 1	Coil 2	Input 12	LPR1
PARTIR LLENADO 1	Coil 3	Input 13	LPV1
PARTIR SOPLADOR	Coil 4	Input 14	
PARTIR LLENADO 2	Coil 5	Input 15	FUNCIONAMIENTO SOPLADOR
MANUAL	Coil 6	Input 16	
AUTOMATICO	Coil 7	Input 17	ALARMA TIEMPO BOMBA 1
Parada de emergencia	Coil 8	Input 18	ALARMA TIEMPO BOMBA 2
RESET	Coil 9	Input 19	ALARMA TIEMPO SOPLADOR
CAUDAL BOMBA(1)	Holding Reg 10	Input Reg 50	LLENADO ESTANQUE(1)
NIVEL ESTANQUE(1)	Holding Reg 10	Input Reg 51	HORAS TRABAJO BOMBA 1
CAUDAL BOMBA(2)	Holding Reg 10	Input Reg 52	LLENADO ESTANQUE (2)
NIVEL ESTANQUE (2)	Holding Reg 10	Input Reg 53	HORAS TRABAJO BOMBA 2
		Input Reg 54	HORAS TRABAJO SOPLADOR
		Input Reg 55	DESCARGA BOMBA(1)
		Input Reg 56	DESCARGA BOMBA(2)
		Input Reg 57	

Imagen 8: Capitulo 1, Estructura de programación Factory IO

ECO STRUXURE.⁶: Estructura de la Lógica de Funcionamiento

Objetivo del programa

El programa desarrollado tiene como objetivo principal automatizar el control y monitoreo de una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Este sistema permite capturar y procesar datos para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y optimizar la operación de la planta.

Componentes del Programa

- **Estructura de Variables:**
 - Variables binarias: Control de encendido/apagado de actuadores.
 - Variables analógicas: Procesamiento de niveles y caudales.
- **Equipos Involucrados:**
 - 3 bombas.
 - 1 motor.
- **Instrumentos Involucrados**
 - Sensor de PH
 - Sensor de Oxígeno disuelto
 - Analizador de red.

Descripción de Equipos

- **Bombas:**
 - Q0.0 Bomba de alimentación a piscina
 - Q0.1 Bomba de alimentación a planta
 - Q0.3 Bomba de extracción a cauce natural.
- **Motor:**
 - Q0.2 Motor Conectado a Soplador.

⁶ Detalles de programa en [anexo 6](#).

Lógica de Funcionamiento del Programa en Ecostruxure Machine Expert

Objetivo General del Programa.

El programa desarrollado tiene como objetivo principal el control y monitoreo automatizado de los equipos de una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS), garantizando la operación eficiente y segura mediante la adquisición y procesamiento de datos.

Estructura del Programa

- **Tarea Maestra**

La tarea maestra centraliza las operaciones principales, agrupando funciones y subrutinas para el control de los sistemas:

- **Llenado de piscinas (POU 1):**

Control de bombas para llenar piscinas según niveles predeterminados.

- Activación de bombas en modo automático o manual.
- Verificación de niveles para evitar sobrellenado.
- Registro de tiempo de funcionamiento de cada bomba.

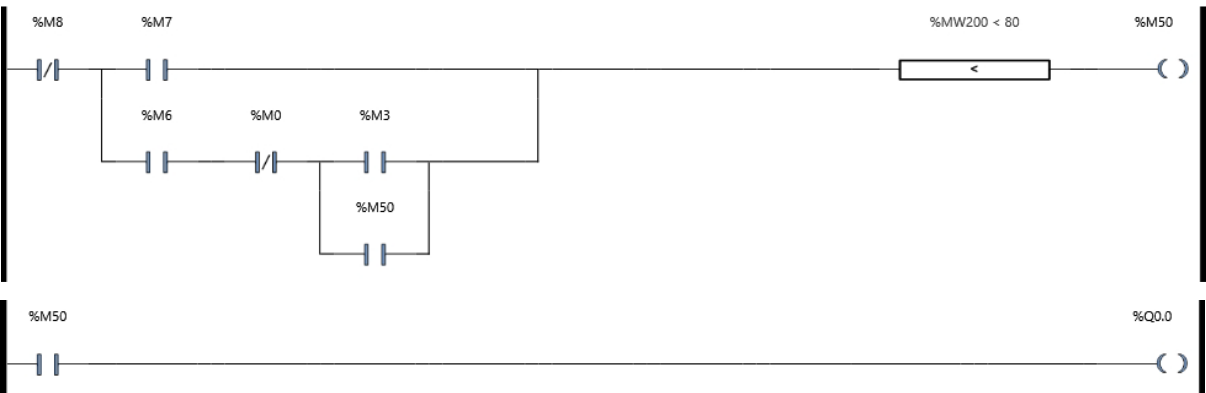


Imagen 9, Capitulo 1: Rung de llenado de piscina.

- **Vaciado de piscinas (POU 2):**

Activación de bombas para descargar agua tratada según las condiciones del sistema.

- Supervisión del nivel mínimo antes de detener las bombas.

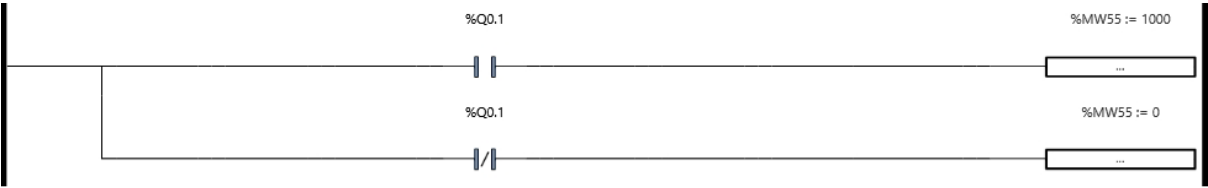


Imagen 10: Capítulo 1: Rung de vaciado de piscina.

- **Control de niveles (POU 3, POU 6):**

Generación de alarmas por bajo o alto nivel en los estanques:

- Activación de indicadores visuales o sonoros.
- Ajustes en las operaciones automáticas para estabilizar niveles.

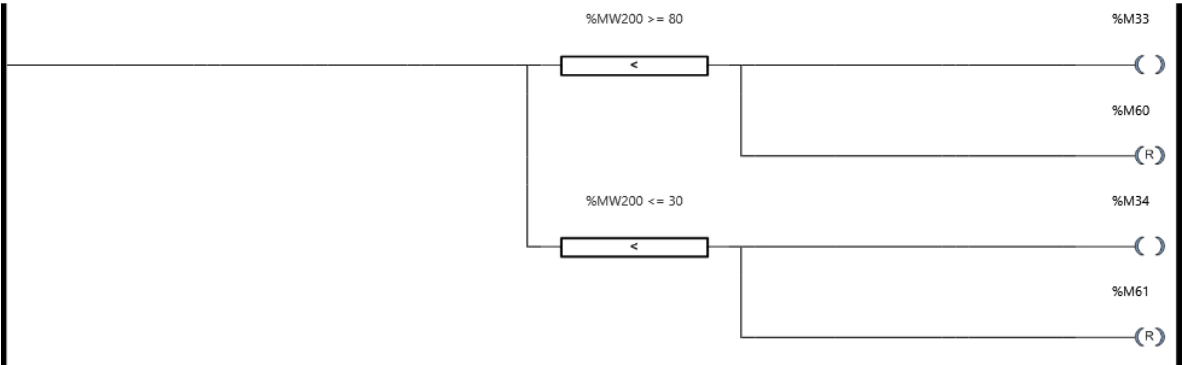


Imagen 11:Capítulo 1: Rung de control de niveles

Parámetros de Control

- **Corriente de Funcionamiento de Equipos**
 - Monitoreo de la corriente eléctrica consumida por bombas, sopladores y otros dispositivos.
 - Configuración de límites superiores para detectar sobrecargas y activar alarmas preventivas.
- **Variación de pH del Agua (POU 7)**
 - Simulación de variación en pH del agua.
 - Recepción y procesamiento de datos del sensor de pH.
 - Activación de mecanismos para corrección de pH:
 - Aumento mediante adición de productos químicos alcalinos.
 - Reducción mediante agentes ácidos

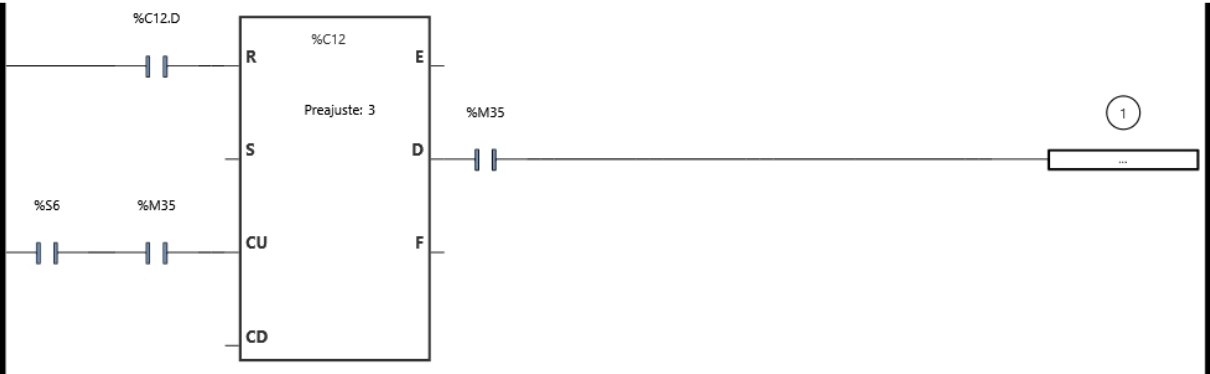


Imagen 12: Capítulo 1: Rung de simulación de aumento de pH.

- Leyenda:

1 %MW206: = %MW206 + 1

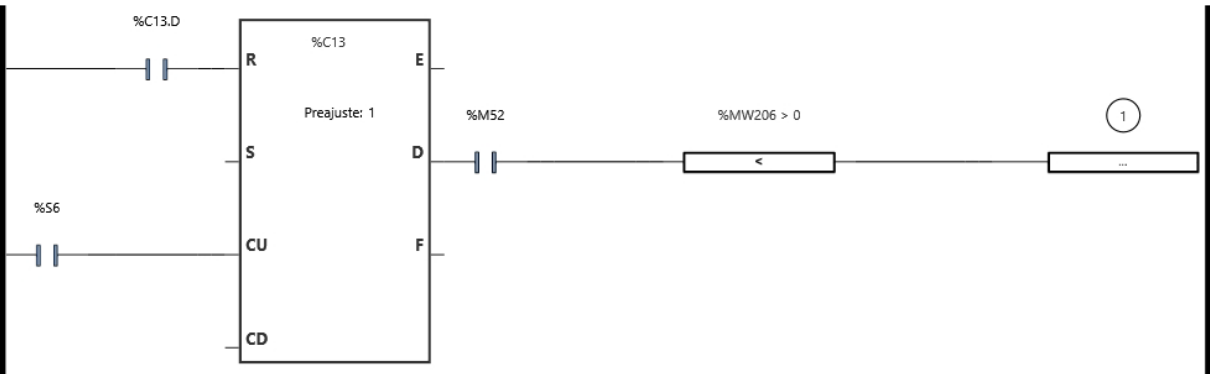


Imagen 13 Capítulo 1: Rung de simulación de reducción de pH.

- Leyenda:

1 %MW206: = %MW206 - 1

- **Oxígeno Disuelto (POU 8)**
 - Simulación de variación en oxígeno disuelto

- Monitoreo continuo del nivel de oxígeno disuelto en el agua.
- Ajuste del funcionamiento de sopladores para mantener niveles óptimos:
 - Incremento de aireación en caso de bajos niveles.
 - Reducción de potencia cuando el oxígeno excede el rango.

Comportamiento de Alarmas y Seguridad

Sobrecorriente en Bombas y Sopladores (POU 1, POU 4; Rung 7)

- Simulación de sobrecorriente por medio de un pulso
- Generación de señales de alarma en caso de sobrecarga.
- Detención automática del equipo afectado para evitar daños mayores.

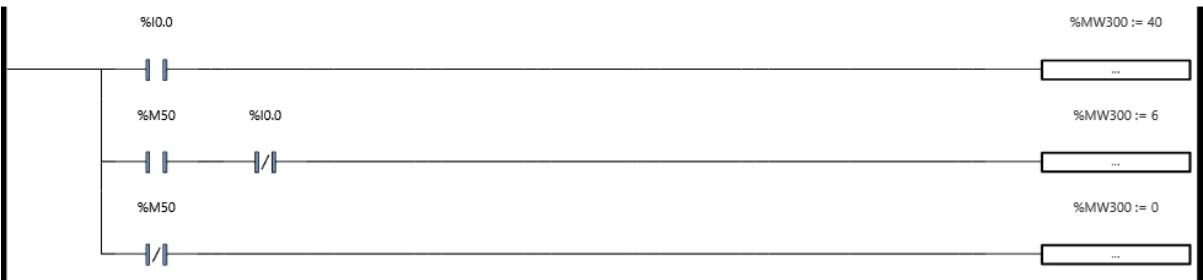


Imagen 14, Capítulo 1: Rung de simulación de corriente de operación y sobre corriente.

Alarmas de Niveles (POU 3, POU 6; Rung 1)

- Detección de condiciones de bajo o alto nivel.
- Intervenciones automatizadas para proteger equipos y mantener la operación estable.

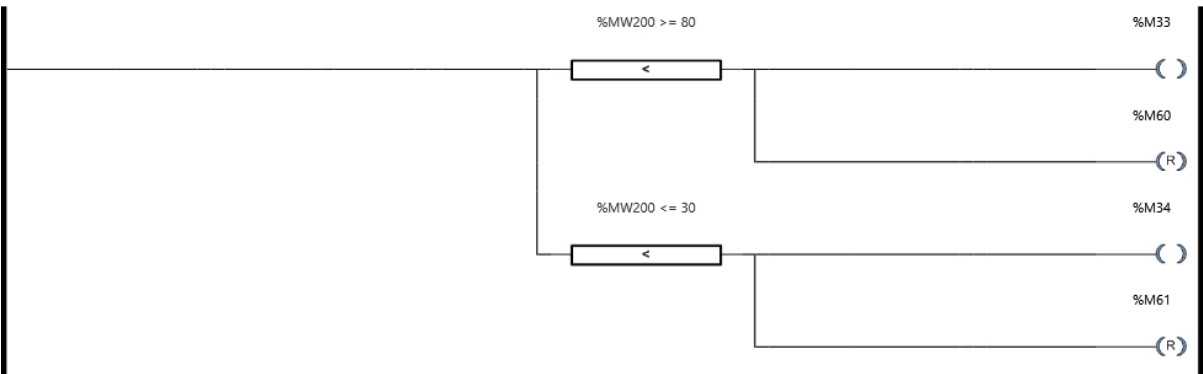


Imagen 15, Capítulo 1: Rung de detección y alarma de bajo y sobre nivel de agua.

Alarma de Sobredemanda (POU 1, POU 4; Rung 7, Rung 8):

- Registro y activación de alarmas en caso de que el equipo supere el tiempo esperado de funcionamiento continuo. (Imagen 16)

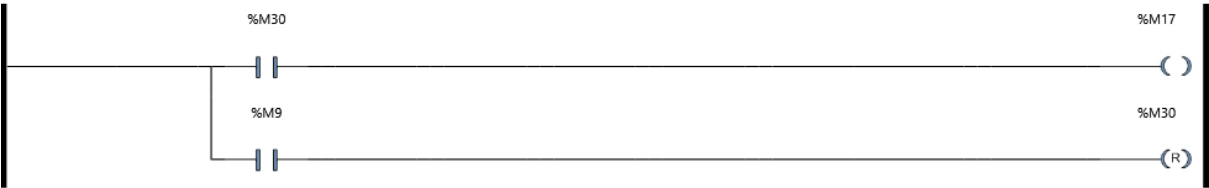


Imagen 16:Rung de alarma sobre demanda por tiempo de trabajo equipos.

Registro de Horas y Minutos de Operación (POU 1, POU 4)

- Cálculo acumulativo del tiempo de funcionamiento de cada bomba, soplador u otro equipo crítico (Rung 3 y 4 en cada sección).
- Generación de indicadores para mantenimiento preventivo.

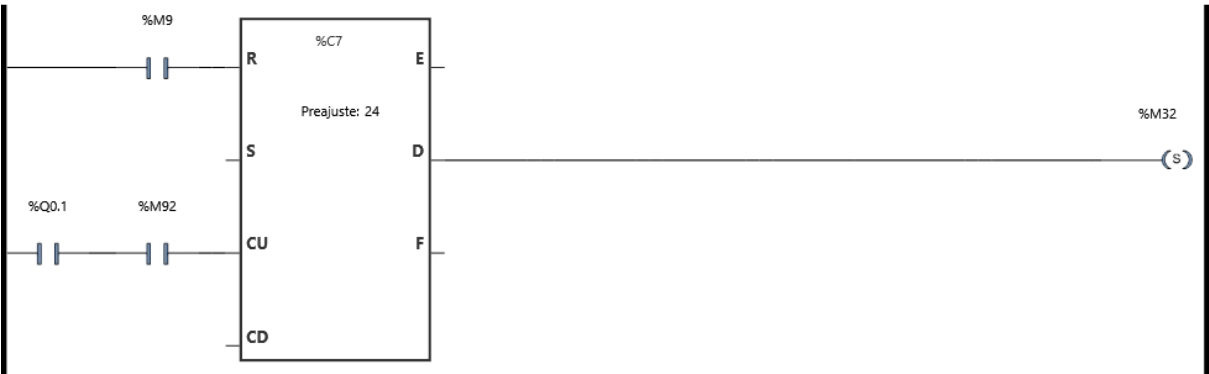


Imagen 17: Rung de registro de horas de operación

Entrega de Datos a Interfaces Externas

- Provisión de datos procesados para visualización o sistemas SCADA (Rung 6 en varias secciones).



Imagen 18: Entrega de datos a contador en Factory IO

Resultados Esperados

- **Optimización de procesos:** Ajuste dinámico de los parámetros operativos según las condiciones detectadas.
- **Mantenimiento preventivo efectivo:** Reducción de fallas mediante el monitoreo y registro del tiempo de operación de los equipos.
- **Seguridad operativa:** Respuesta rápida ante condiciones anómalas gracias a alarmas automáticas.

NODE-RED: Estructura de comunicación de datos.

Objetivo del Programa

El programa tiene como objetivo principal mejorar la visualización y procesamiento de los datos operativos y de control en una planta de tratamiento de aguas servidas. Se enfoca en la integración de sensores, el monitoreo, la detección de fallas y la presentación de indicadores clave para optimizar el desempeño del sistema y facilitar la toma de decisiones.

Lógica de Funcionamiento del Programa en Node-RED

Estructura General

El programa en Node-RED está estructurado en varias secciones, las cuales incluyen:

a) **Lectura de Sensores y Parámetros Operativos (Imagen 19)**

- Captura de datos de sensores mediante nodos de protocolo Modbus (corrientes, niveles, pH, oxígeno disuelto, etc.).
- Procesamiento de las señales para normalizar, escalar o calcular indicadores como horas de operación y alarmas.

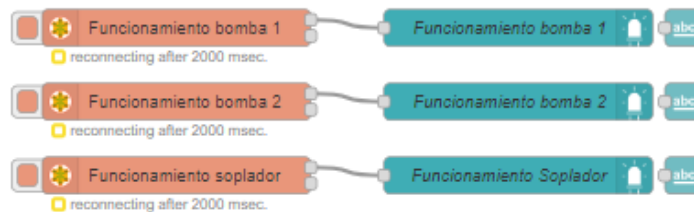


Imagen 19: Capítulo 1: bloques de recepción de datos de operación de equipos en Node-red.

2. Procesamiento de Datos (Imagen 20)

- Uso de funciones (nodos "function") para realizar cálculos específicos:
 - Cálculo de horas de trabajo de las bombas y sopladores.
 - Identificación de condiciones de sobre exigencia o fallas en los equipos (bombas tapadas)
- Conversión de señales brutas en formatos adecuados para la visualización.

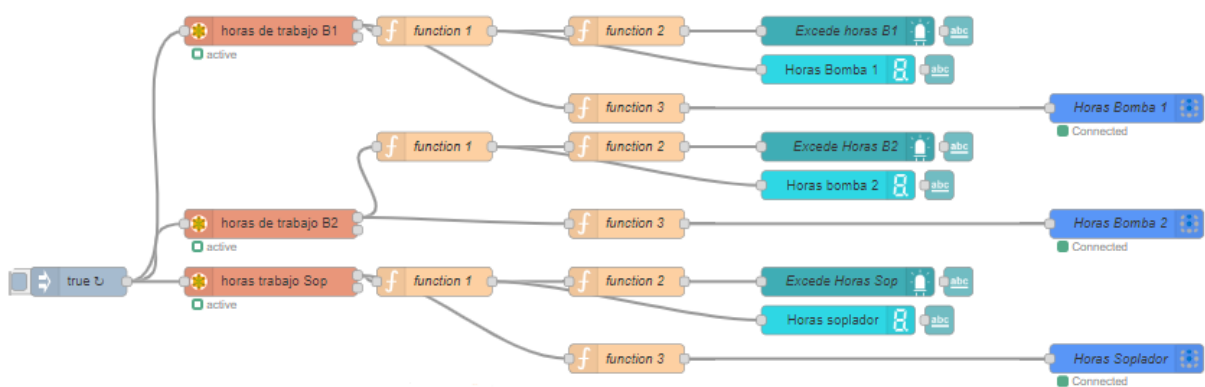


Imagen 20, Capítulo 1: Estructura general de procesamiento de datos Node-red.

Visualización de Indicadores en el Dashboard (Imagen 21)

- Representación gráfica de parámetros biológicos (pH, oxígeno disuelto) y de operación (corrientes de bombas, niveles de tanques).
- Uso de widgets para mostrar estados de operación (encendido/apagado), alarmas, y gráficos.

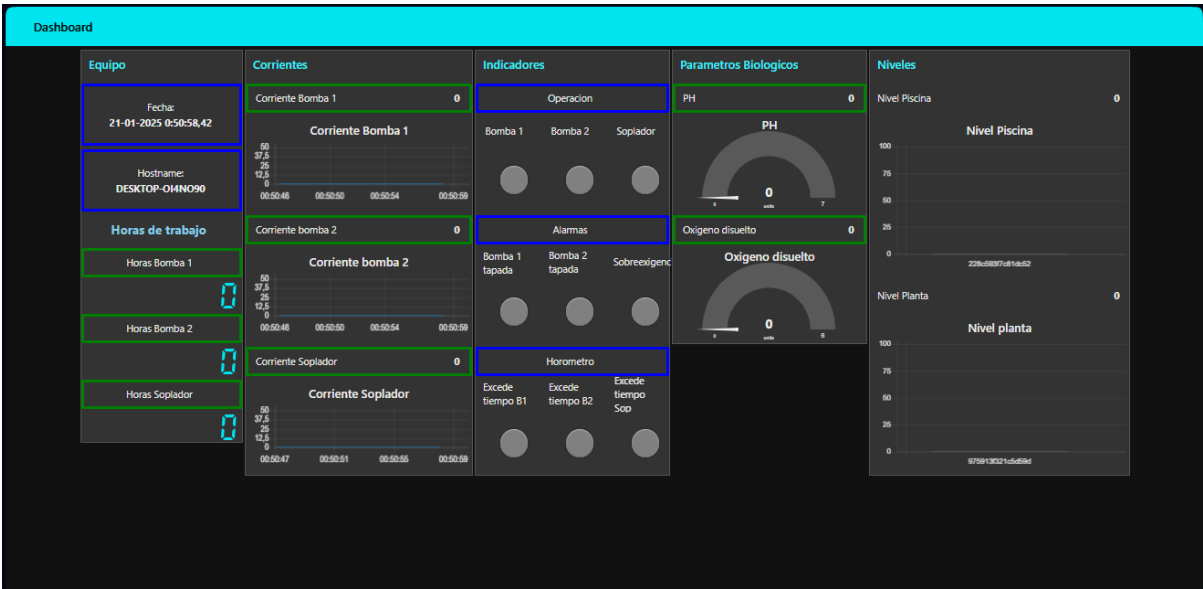


Imagen 21, Capítulo 1: Estructura de Dashboard Node-red.

Alarmas y Notificaciones

- Implementación de lógicas para activar alarmas en casos de:
 - Superación de límites operativos (corriente excesiva, horas de trabajo acumuladas).
 - Falla mecánica o eléctrica en los equipos (bombas o sopladores).
- Notificación al operador a través del Dashboard o integraciones externas.

3. Conexión con Ecostruxure

- Integración con el sistema Ecostruxure para recibir datos relevantes.
- Sincronización de alarmas, estados de operación y niveles con el sistema SCADA. (Imagen 22)

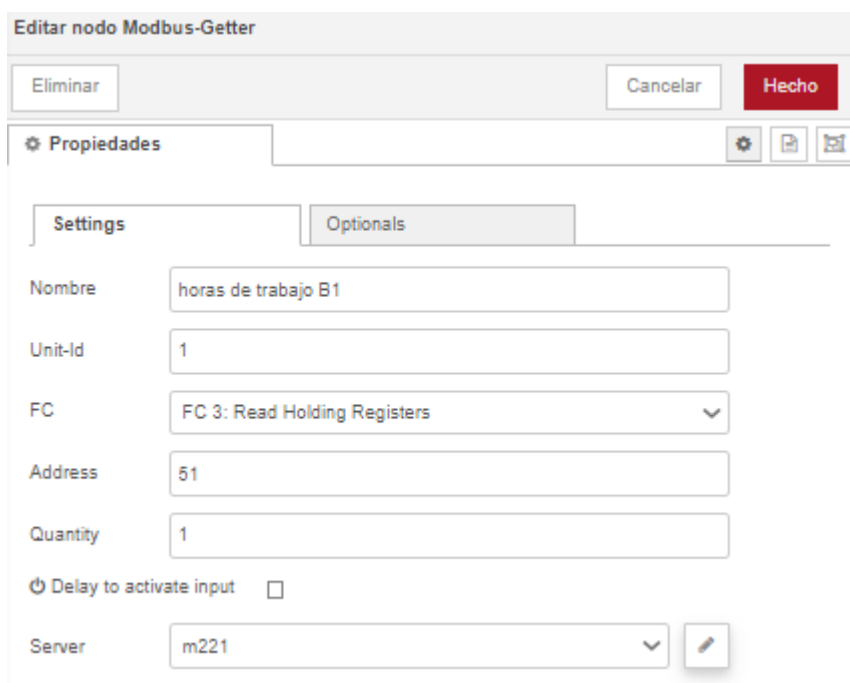


Imagen 22 Capítulo 1: configuración de nodo Modbus-Getter. Recepción de datos.

Conexión con Ubidots

- Integración con plataforma Ubidots para transmisión de datos a la nube.
- Generación de Dashboard para visualización de parámetros relevan

Lectura de Parámetros Operativos

- Nodos Modbus recopilan las variables clave desde los sensores conectados al sistema PLC.
- Variables principales: Corriente de bombas, niveles en tanques, pH, oxígeno disuelto.

Procesamiento y Cálculo

- **Horas de Trabajo:** Se calculan mediante funciones que acumulan el tiempo de operación basado en los estados de encendido de las bombas y sopladores.
- **Alarmas:** Las funciones evalúan condiciones críticas, como corriente por encima de umbrales o estados de falla reportados por los sensores.
- **Estados Operativos:** Los estados (encendido, apagado) son procesados y enviados al Dashboard para visualización.

Visualización

- Se emplea un Dashboard en Node-RED para mostrar:
 - Indicadores (gráficas de pH y oxígeno disuelto).
 - Estados de los equipos (encendido/apagado).
 - Alarmas activas.
- Los datos son organizados en grupos lógicos para facilitar su interpretación.

Sincronización con Ecostruxure

- Los datos procesados en Node-RED se integran con el software Ecostruxure para ampliar las capacidades de control y monitoreo remoto.
- Los datos clave son enviados desde Ecostruxure mediante protocolos estándar (como Modbus).

UBIDOTS: gestión de datos y recepción de información operacional.

Objetivo del programa

Como parte de la modernización de la planta de tratamiento de aguas servidas, la implementación de Ubidots optimiza el monitoreo y control de los equipos críticos mediante la recolección y análisis de datos. Esta plataforma IoT permite integrar información de sensores instalados en bombas, motores y otros componentes clave, facilitando el seguimiento de parámetros operativos, la detección temprana de fallas y la planificación de mantenimientos.

En este punto se detalla el proceso de implementación, desde la configuración de comunicación hasta el diseño de Dashboard personalizados. Ubidots se posiciona como una herramienta esencial para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad operativa de la planta, avanzando hacia un modelo de gestión más inteligente y alineado con la industria 4.0.

Condiciones de uso

- Crear una cuenta en Ubidots

Accede al sitio web oficial de Ubidots y regístrate completando los campos requeridos, como nombre, correo electrónico y contraseña. Verifica tu cuenta a través del correo de confirmación enviado y accede al panel de control, Ubidots ofrece un plan gratuito de prueba de 30 días, el cual está siendo utilizado para este proyecto.

- Instalar el Nodo de Ubidots en Node-RED

En la interfaz de Node-RED, abre el gestor de paletas desde el menú principal. Busca el nodo "Ubidots" en la pestaña de instalación, selecciona el paquete correspondiente e instálalo para integrarlo a tu flujo. (imagen 23)

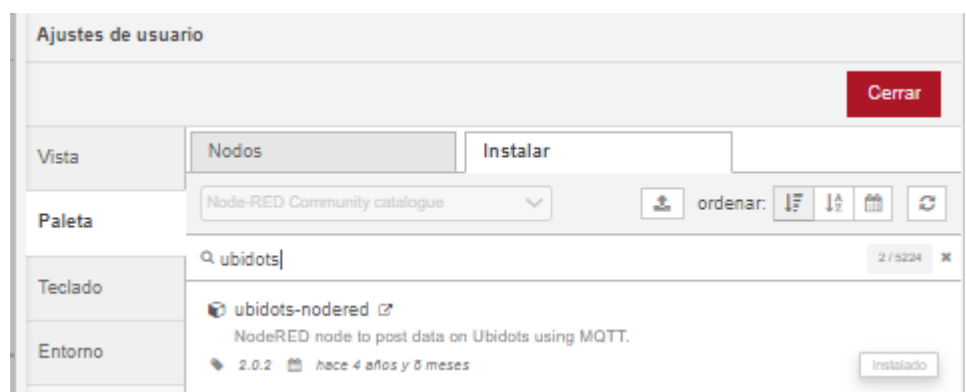


Imagen 23, Capítulo 1: Identificación de paleta de nodos Ubidots para Node-red.

- Configuración del Nodo de Ubidots en Node-RED

El nodo de Ubidots en Node-red nos permite comunicar los datos trabajados a la base de datos alojada en el servidor de Ubidots, para esto se debe considerar el *token* de API, que nos suministra al momento de crear un dispositivo como se muestra a continuación en la imagen 24

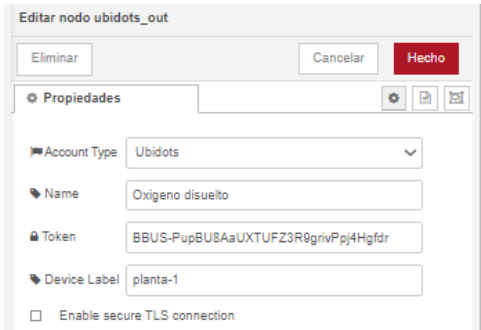


Imagen 24 Capítulo 1: Configuración de nodo Ubidots_out.

- Conexión de sensores correspondientes

Se deben integrar los sensores físicos con Node-RED a través de protocolos como MQTT, HTTP o Modbus.

- Verificación de recepción de datos en Ubidots

Se debe diseñar un flujo en Node-RED que envíe los datos recopilados a Ubidots. Utilizando nodos de función y conexión para procesar la información y enviarla al nodo Ubidots. Podemos verificar en la plataforma que los datos llegan correctamente.

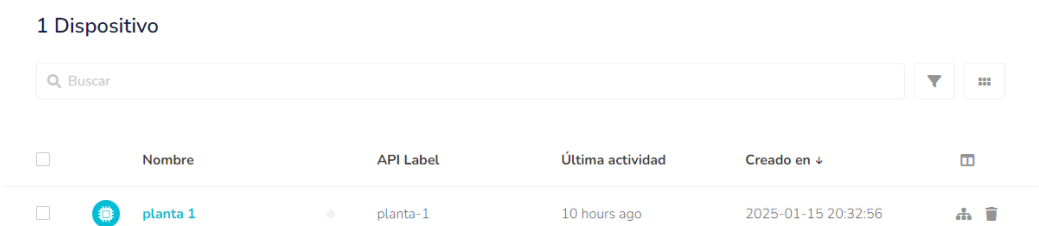


Imagen 25, Capítulo 1: Identificación de dispositivo existente Ubidots.

Se pueden visualizar variables en ubidots accediendo a la sección de dispositivos en Ubidots para observar los datos enviados desde Node-RED. Y desde aquí comprobar que las variables configuradas están actualizándose con los valores del flujo. Como se aprecia en la imagen 26.

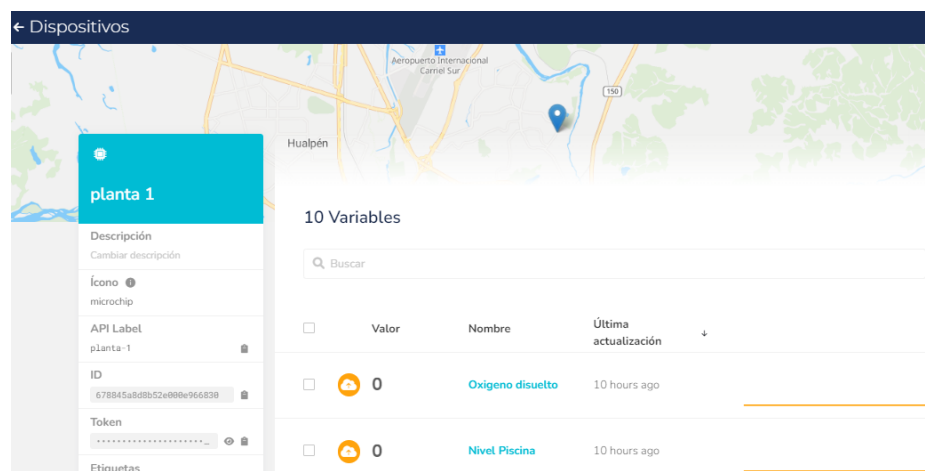


Imagen 26, Capítulo 1: Visualización de variables en Ubidots.

Una vez que los datos estén siendo enviados desde Node-RED a Ubidots, se puede crear un **Dashboard** para visualizarlos de forma clara y efectiva. Los Dashboard permiten mostrar los datos, crear gráficos, medidores y recibir alertas visuales.

Dentro de las posibilidades existentes podemos nombrar, por ejemplo:

- Crear un Nuevo Dashboard
- Agregar Widgets al Dashboard
- Agregar un medidor
- Agregar un valor numérico
- Personalizar el Dashboard (Imagen 27)
 - **Organiza los widgets:** se pueden arrastrar y soltar los widgets dentro del Dashboard para organizar su disposición según las preferencias.
 - **Configura la apariencia:** Cada widget tiene opciones de personalización como el color, el tamaño, las etiquetas y el estilo del gráfico.
 - **Ajustar la frecuencia de actualización:** Algunos widgets permiten ajustar la frecuencia con la que se actualizan los datos, dependiendo de la cantidad de datos enviados y la importancia de la visualización.



Imagen 27, Capítulo 1: Dashboard corrientes de funcionamiento. Ubidots.

Capítulo 2: Optimización de funcionamiento de planta de acuerdo a parámetros medidos.

Datos relevantes sobre operación de planta existente.

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo principal optimizar la operación de una planta de tratamiento de aguas servidas que cuenta con dos bombas elevadoras y un motor soplador. Actualmente, la planta enfrenta desafíos operativos y económicos derivados de altos costos energéticos, frecuentes mantenimientos correctivos y desgaste acelerado de los equipos principales.

Contexto Operativo

- **Bombas elevadoras:** Funcionan 12 veces por hora, lo que genera un desgaste significativo y requiere reemplazo correctivo cada 1.5 años debido a su desgaste por sobre exigencia siendo su vida útil ideal de 8-10 años aproximadamente. (Ficha de bomba en anexo 7)
- **Motor soplador:** Su vida útil se ve reducida a 2 años debido a las condiciones de operación siendo su vida útil ideal en el rango de 10-12 años
- **Contactores:** Sufren quemaduras frecuentes y deben reemplazarse cada 3 meses, siendo su vida útil ideal 1-2 años.
- **Consumo energético:** La planta tiene un consumo energético mensual promedio de aproximadamente \$4.000.000, lo que representa un impacto económico significativo.
- **Logística de mantenimiento:** Al ser plantas en su mayoría administradas por entidades gubernamentales, la logística de operación y gestión de costos es reducida y programada anualmente, por lo tanto, los costos de mantenciones correctivas deben pasar por un proceso de autorizaciones y gestiones que provocan “tiempos muertos” de aproximadamente 2-4 meses.

Diagnóstico y Problemas Identificados

Altos costos operativos: Derivados del consumo energético elevado y los mantenimientos frecuentes.

Desgaste prematuro de equipos: Por un uso intensivo y la falta de estrategias de optimización.

Falta de monitoreo avanzado: Ausencia de sistemas de control predictivo que permitan anticipar fallas.

Impacto económico: Las fallas recurrentes en los equipos afectan tanto la continuidad del servicio como los costos de operación.

Parámetros analizados

Corriente de Funcionamiento de Cada Equipo

Análisis

- Variaciones anormales en la corriente de funcionamiento pueden indicar problemas mecánicos (sobrecargas o fricción excesiva) o eléctricos (fallos en motores, conexiones).
- Equipos con corrientes fuera del rango nominal consumen más energía y están en riesgo de fallar.

Optimización Propuesta

Establecimiento de Rangos Nominales:

- Determinar el rango de corriente ideal para cada equipo que en este caso sería la corriente nominal detallada por el fabricante
- Configurar alarmas para corrientes fuera de rango que sobrepase un 20% de su corriente nominal

Monitoreo Predictivo:

- Implementar mantenimiento predictivo para equipos que presenten incrementos graduales en la corriente.
- Registrar eventos de sobrecorriente para identificar patrones recurrentes.

Ajustes Operativos:

- Optimizar la carga de trabajo distribuyendo la operación entre equipos redundantes para evitar sobrecarga continua.

Variación del pH del Agua

Análisis

- La operación de clorificadores no están relacionados con la variación de pH del agua por lo que genera mayores desviaciones de pH.
- Desviaciones en el pH pueden afectar la eficiencia de los procesos químicos y biológicos de tratamiento.
- Un pH fuera del rango óptimo puede aumentar el uso de reactivos químicos y reducir la calidad del agua tratada.

Optimización Propuesta

Regulación Automática:

- Ajustar la dosificación de reactivos (ácidos o bases) mediante el control proporcional basado en la medición del pH.

Zonificación del Control:

- Dividir la planta en zonas de tratamiento con control independiente de pH. Esto permite aplicar correcciones específicas sin afectar todo el proceso.

Análisis de Tendencias:

- Utilizar el historial de variaciones para identificar horarios o eventos que generen desviaciones, como entradas de caudal con alta carga contaminante.

Variación de Oxígeno Disuelto (OD)

Análisis

- El oxígeno disuelto es crítico para el tratamiento biológico. Valores bajos afectan la actividad de los microorganismos, mientras que niveles excesivos pueden hasta eliminar microorganismos.

Optimización Propuesta

Control Dinámico de Sopladores:

- Ajustar la operación de los sopladores en función de las mediciones de OD.

Optimización del Consumo Energético:

- Revisar el tamaño de los sopladores y su configuración para evitar sobrealimentación de oxígeno.
- Monitorear los tiempos de funcionamiento para reducir el consumo en períodos de baja carga.

Tendencias por Zona:

- Identificar zonas con alta variabilidad de OD y ajustar la aireación de forma localizada.

Horas de Trabajo de Cada Equipo Análisis

- Equipos con tiempo excesivo de operación están sujetos a mayor desgaste y probabilidad de fallas.
- La operación continua sin rotación eficiente entre equipos redundantes aumenta los costos de mantenimiento.

Optimización Propuesta

Rotación Programada:

- Diseñar un esquema de rotación automática para equipos redundantes.
- Utilizar históricos para balancear las horas de trabajo y extender la vida útil de los equipos.

Alarmas de Mantenimiento Preventivo:

- Configurar alarmas basadas en las horas de operación acumuladas para programar mantenimientos antes de fallas críticas.

Revisión de Sobrecargas:

- Analizar la relación entre las horas de trabajo y las corrientes de funcionamiento para detectar sobrecargas frecuentes.

Niveles de Estanques Análisis

- Niveles fuera de rango pueden causar desbordes, cavitación en bombas, o problemas en el tratamiento de sólidos.
- Niveles bajos pueden comprometer la continuidad del flujo en los procesos.

Optimización Propuesta

Control Automático de Niveles:

- Utilizar sensores de nivel para activar y desactivar bombas automáticamente.

Prevención de Problemas Operativos:

- Implementar alarmas para niveles extremos (muy altos o muy bajos).
- Ajustar la programación de llenado y vaciado según el historial de demanda de caudal.

Análisis de Consistencia:

- Revisar el historial de niveles para identificar fluctuaciones recurrentes y optimizar la programación de bombeo.

Resultados Esperados de la Optimización**Reducción de Costos Operativos:**

- Menor consumo de energía en sopladores y bombas gracias a un control más preciso.
- Reducción de uso de reactivos químicos por una mejor regulación del pH.

Aumento de la Vida Útil de los Equipos:

- Operación balanceada y mantenimiento predictivo basado en datos históricos.

Mejora en la Eficiencia del Tratamiento:

- Parámetros como OD y pH dentro de rangos óptimos, asegurando mayor calidad en el agua tratada.

Mayor Confiabilidad Operativa:

- Reducción de fallas inesperadas y mejoras en la planificación de mantenimientos.

Esta estrategia de optimización puede ser implementada de manera escalonada para evaluar el impacto de cada mejora y realizar ajustes específicos según los resultados.

Valores analizados por KPI

Rango de Operación (%).

Meta: 90%

Rango de Operación (%)

$$(Horas\ dentro\ del\ rango\ nominal / Total\ de\ horas\ de\ operación) \times 100$$

Este parámetro puede ser aplicado a bombas y motor soplador.

Incremento Promedio de Corriente (A/mes).

Meta: 0.1

Incremento Promedio = (Corriente final del mes - Corriente inicial del mes) / Meses evaluados

Parámetro de incremento promedio de corriente idealmente que el valor sea 0

Cumplimiento del Rango de pH (%).

Meta:

$$\text{Cumplimiento (\%)} = (\text{Horas dentro del rango óptimo} / \text{Total de horas medidas}) \times 100$$

Eficiencia del Consumo de Energía en Aireación (kWh/kg O₂).

Meta:

$$\text{Eficiencia} = \text{Consumo de energía en aireación (kWh)} / \text{Oxígeno disuelto aportado (kg O}_2\text{)}$$

Cumplimiento del Rango de OD (%)

Meta:

$$\text{Cumplimiento (\%)} = (\text{Horas dentro del rango óptimo} / \text{Total de horas medidas}) \times 100$$

Cumplimiento de Mantenimiento Programado (%)

Meta:

$$\text{Cumplimiento (\%)} = (\text{Mantenimientos realizados según plan} / \text{Total de mantenimientos programados}) \times 100$$

Frecuencia de Activación de Alarmas (eventos/día)

Meta:

$$\text{Frecuencia de Alarmas} = \text{Número de alarmas activadas} / \text{Días monitoreados}$$

Estudio económico

Comparativa de costos planta actual y planta automatizada.

Consumo de Potencia

Consumo mensual total de la planta actual

	Planta actual						
Planta actual	Potencia (kW)	Horas de trabajo	Consumo (kWh)	Ajuste por FP	Consumo Kva (kWh)	\$/kWh	Costo total
Bomba 1	1,1	19	627	0,85	738	\$ 150	\$ 110.647
Bomba 2	1,1	19	627	0,85	738	\$ 150	\$ 110.647
Soplador	2,2	19	1254	0,85	1475	\$ 150	\$ 221.294
Consumos adicionales	0,95	12	342	0,85	402	\$ 150	\$ 60.353
Total	5,35		2850		2951		\$ 502.941

Cargos adicionales	Variable (Kw/h)	Monto aplicable (\$/kWh)	Monto total
Cargo por transporte	\$ 2.850	\$30	\$85.500
	Variable (\$)	Monto Aplicable (\$)	Monto total
Cargo Fijo	-	\$ 15.000	\$15.000
Subtotal			\$603.441
	Variable (\$)	Monto aplicable (%)	Monto total
Penalizacion FP	\$603.441	10	\$ 663.785

Consumo total de la planta optimizada

Costos anuales	\$ 7.965.424
----------------	--------------

	Optimizada						
Planta actual	Potencia (kW)	Horas de trabajo	Consumo (kWh)	Ajuste por FP	Consumo Kva (kWh)	\$/kWh	Costo total
Bomba 1	1,1	12	396	0,9	440	\$ 150	\$ 66.000
Bomba 2	1,1	12	396	0,9	440	\$ 150	\$ 66.000
Soplador	2,2	12	792	0,9	880	\$ 150	\$ 132.000
Consumos adicionales	0,95	12	342	0,9	380	\$ 150	\$ 57.000
Total	5,35		1926		1760		\$ 321.000

Cargos adicionales	Variable (Kw/h)	Monto aplicable (\$/kWh)	Monto total
Cargo por transporte	\$ 1.926	\$30	\$57.780
	Variable (\$)	Monto Aplicable (\$)	Monto total
Cargo Fijo	-	\$ 15.000	\$15.000
Subtotal			\$393.780
	Variable (\$)	Monto aplicable (%)	Monto total
Penalizacion FP	\$393.780	5	\$ 413.469

Costos anuales	\$ 4.961.628
----------------	--------------

Comparativa de costos de mantenimiento

Planta actual

Dentro de los costos operacionales de una planta existen los costos de mantenimiento, en los cuales se pueden mencionar, estudios de resistencia, estudios de aislación, cambio de grasa lubricante en motores, reemplazo de rodamientos, entre otros.

Estas mantenciones en la planta actual se están realizando en periodos de 2 meses a 4 meses dependiendo de los requerimientos y reemplazos de equipos por daño en periodos de 2 años a 3 años como se puede observar en la imagen 28 los costos son bastante elevados.

Planta actual											
		Mes						Año			
Bomba 1	Costo unitario	2	4	6	8	10	12	2	3	10	Subtotal anual
Retiro y limpieza	\$ 320.000	x	x	x	x	x	x				\$ 1.920.000
Medicion de resistencia	\$ 450.000		x		x		x				\$ 1.350.000
Medicion de aislacion	\$ 350.000		x		x		x				\$ 1.050.000
Retiro y reemplazo	\$ 1.600.000							x		x	-
Informe tecnico	\$ 400.000							x	x	x	\$ 400.000
Total	\$ 3.120.000							\$ 4.320.000			\$ 55.200.000
		Mes						Año			
Bomba 2	Costo unitario	2	4	6	8	10	12	2	3	10	Subtotal anual
Retiro y limpieza	\$ 320.000	x	x	x	x	x	x				\$ 1.920.000
Medicion de resistencia	\$ 450.000		x		x		x				\$ 1.350.000
Medicion de aislacion	\$ 350.000		x		x		x				\$ 1.050.000
Retiro y reemplazo	\$ 1.600.000							x		x	-
Informe tecnico	\$ 400.000						x	x	x	x	\$ 400.000
Total	\$ 3.120.000							\$ 4.320.000			\$ 55.200.000
		Mes						Año			
Soplador	Costo unitario	2	4	6	8	10	12	2	3	10	Subtotal anual
Medicion de vibraciones	\$ 250.000	x	x	x	x	x	x				\$ 1.500.000
Medicion de resistencia	\$ 250.000		x		x		x				\$ 750.000
Medicion de aislacion	\$ 350.000		x		x		x				\$ 1.050.000
Cambio de lubricacion	\$ 200.000	x	x	x	x	x	x	x			\$ 1.200.000
Retiro y reemplazo	\$ 1.600.000							x			-
Imforme tecnico	\$ 400.000						x	x	x	x	\$ 400.000
Total	\$ 3.050.000							\$ 4.900.000			\$ 53.800.000

Total anual	\$ 13.540.000
Total a 10 años	\$ 164.200.000

Tabla 1, Capitulo 2: Costos de mantención planta actual

Planta Optimizada

Considerando el funcionamiento de la planta de forma optimizada, podemos identificar que las mantenencias se reducen considerablemente, por ejemplo, la vida útil de los equipos se estima en 10 años operando de manera correcta, bajo los tiempos de fabricante y con mantenencias predictivas y no correctivas.

Podemos observar en la Imagen 29, que el costo de mantención se reduce a un 47% del valor inicial.

Planta Optimizada											
		Mes					Año				
Bomba 1	Costo unitario	2	4	6	8	10	12	2	3	10	
Retiro y limpieza	\$ 320.000	x		x			x				\$ 960.000
Medicion de resistencia	\$ 150.000			x			x				\$ 300.000
Medicion de aislacion	\$ 350.000			x			x				\$ 700.000
Retiro y reemplazo	\$ 1.600.000									x	-
Informe tecnico	\$ 400.000						x	x	x	x	\$ 400.000
Total	\$ 2.820.000									\$ 2.360.000	\$ 25.200.000
		Mes					Año				
Bomba 2	Costo unitario	2	4	6	8	10	12	2	3	10	
Retiro y limpieza	\$ 320.000	x		x			x				\$ 960.000
Medicion de resistencia	\$ 150.000			x			x				\$ 300.000
Medicion de aislacion	\$ 350.000			x			x				\$ 700.000
Retiro y reemplazo	\$ 1.600.000									x	-
Informe tecnico	\$ 400.000						x	x	x	x	\$ 400.000
Total	\$ 2.820.000									\$ 2.360.000	\$ 25.200.000
		Mes					Año				
Soplador	Costo unitario	2	4	6	8	10	12	2	3	10	
Medicion de vibraciones	\$ 250.000			x			x				\$ 500.000
Medicion de resistencia	\$ 150.000			x			x				\$ 300.000
Medicion de aislacion	\$ 350.000			x			x				\$ 700.000
Cambio de lubricacion	\$ 200.000	x		x			x				\$ 600.000
Retiro y reemplazo	\$ 1.600.000									x	-
Imforme tecnico	\$ 400.000						x	x	x	x	\$ 400.000
Total	\$ 2.950.000									\$ 2.500.000	\$ 26.600.000

Total anual	\$ 7.220.000
Total a 10 años	\$ 77.000.000

Tabla 2, Capitulo 2: Costos de mantención planta optimizada.

Análisis de las Diferencias Económicas entre la Planta Actual y la Planta Optimizada

En este apartado se analizarán las diferencias económicas entre el estado actual de operación de la planta de tratamiento de aguas servidas y su versión optimizada, basándonos en los datos obtenidos en las tablas comparativas de costos. El análisis se centra en el consumo energético y los costos operativos asociados, considerando las tarifas eléctricas aplicables a la región y otros factores de impacto económico.

Consumo Energético y Costos Asociados

La planta actual presenta un consumo energético anual de **2.787 kWh**, equivalente a un costo directo de **\$5.475.000**, sin considerar penalizaciones ni cargos adicionales. Por otro lado, la planta optimizada reduce significativamente el consumo energético, alcanzando **1.760 kWh** anuales, con un costo directo de **\$3.321.000**. Esto representa una disminución del **37% en el consumo energético** y una reducción del **39% en los costos directos por consumo eléctrico**.

Penalizaciones y Cargos Adicionales

En la planta actual, los costos asociados a penalizaciones por bajo factor de potencia y cargos de transporte no fueron desglosados detalladamente, pero se pueden inferir como más altos debido a la ineficiencia del sistema. En la planta optimizada, dichos costos ascienden a:

- **Cargos por transporte:** \$557.780.
- **Penalización por factor de potencia:** \$397.719.

Estos valores, aunque presentes en ambas versiones, son menores en la planta optimizada gracias a la mejora en el uso energético, disminuyendo los picos de potencia y ajustando el factor de potencia a niveles más aceptables para las normativas de la distribuidora eléctrica.

Costos Operativos Totales

Al incluir todos los costos asociados, los costos operativos totales anuales de la planta actual ascienden a aproximadamente **\$7.398.600**, mientras que en la planta optimizada se reducen a **\$4.772.628**, logrando un ahorro anual de **\$2.625.972**. Esta reducción corresponde a un **35% de ahorro anual** en los costos de operación eléctrica de la planta.

Proyección a Largo Plazo

Considerando un horizonte de 10 años, el ahorro acumulado por la optimización sería de aproximadamente **\$26.259.720**, sin considerar otros costos adicionales de mantenimiento que también disminuirían en la planta optimizada debido al menor desgaste de los equipos por la eficiencia operativa.

Costos de propuesta de mejora.

Presupuesto modificacion de planta de tratamiento de aguas servidas					
1.1	TABLERO DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	UN	1	\$6.310.593	\$6.310.593
1.2	INSTALACIÓN DE SENSOR DE PH Y TRANSMISOR	UN	1	\$1.193.182	\$1.193.182
1.3	INSTALACIÓN DE SENSOR DE OXÍGENO DISUELTO Y TRANSMISOR	UN	1	\$1.754.382	\$1.754.382
1.4	INSTALACIÓN DE SENSOR ULTRASONICO DE FLUJO	UN	1	\$3.170.582	\$3.170.582
1.5	GABINETE DE TRANSMISORES SENSORES PTAS	UN	1	\$964.013	\$964.013
1.6	GABINETE DE TRANSMISORES	UN	1	\$930.813	\$930.813
1.7	INSTALACIÓN DE ELECTROBOMBA PTAS Y SENSORES DE NIVEL	GL	1	\$2.267.695	\$2.267.695
1.8	CANALIZACIÓN DE RED MODBUS.	GL	1	\$596.845	\$596.845
COSTO DIRECTO				\$	\$17.188.104
GASTOS GENERALES				10%	\$1.718.810
UTILIDADES				15%	\$2.578.216
COSTO NETO				\$	\$21.485.130
IVA				19%	\$4.082.175
COSTO TOTAL				\$	\$25.567.304

Tabla 3, Capitulo 2: Costos de mejora

Justificación de la Inversión

La inversión en esta mejora se justifica a través de la reducción en costos operacionales y de mantenimiento. Según los análisis comparativos entre la planta actual y la optimizada:

Se proyecta un **ahorro anual en costos energéticos** de aproximadamente **\$3.000.000** debido a la reducción en el consumo de energía y optimización de los factores de potencia.

Se estima una **disminución en los costos de mantención** a un año de aproximadamente **\$7.000.000** con una reducción significativa en las intervenciones de equipos críticos como bombas y sopladores.

La implementación de estas mejoras permitirá aumentar la eficiencia del sistema y reducir costos imprevistos por fallas en los equipos.

En términos de rentabilidad, la inversión inicial se amortiza en un período razonable considerando un ahorro anual de aproximadamente \$10.000.000 gracias a los ahorros generados por la optimización del consumo eléctrico y la disminución en la frecuencia de mantenimientos correctivos la inversión podría estar recuperándose en aproximadamente 3 años.

Conclusión

El costo total de **\$25.567.304** representa un gasto inicial considerable, pero se espera que esta inversión genere una **reducción en los costos operacionales y de mantenimiento a lo largo del tiempo**, mejorando la eficiencia energética y prolongando la vida útil de los equipos. Esto no solo optimiza el funcionamiento de la planta, sino que también contribuye a la sustentabilidad y a la reducción del impacto ambiental.

Conclusión del Proyecto de Título

El presente proyecto de título, “**Mejora de funcionamiento y procesamiento de información en planta de tratamiento de aguas servidas**”, permitió implementar soluciones tecnológicas que optimizan la operación de la planta, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia de los procesos. La integración de sistemas avanzados de monitoreo y control fue clave para alcanzar los objetivos planteados.

Principales Logros

Diseño de un sistema de adquisición y transmisión de datos:

- Se implementaron herramientas como *Ecostruxure Machine Expert*, *Factory IO*, *Node red*, *Ubidots* y sistemas de visualización para obtener parámetros críticos, como pH, oxígeno disuelto y niveles en los estanques.
- Los datos recopilados permitieron automatizar procesos clave, generando una operación más precisa y eficiente.

Optimización del funcionamiento de la planta:

- A través del análisis del historial de datos, se implementaron estrategias de control para evitar condiciones operativas desfavorables, como sobrecargas en bombas o niveles fuera de rango.
- Se redujeron las intervenciones correctivas gracias a un mantenimiento preventivo basado en indicadores de tiempo de operación.

Reducción de costos operativos:

- La optimización del uso de energía y recursos fue posible gracias a la automatización de procesos y al ajuste dinámico de equipos según las condiciones de operación.
- Esto derivó en un uso más eficiente de las bombas y sopladores, prolongando su vida útil y minimizando fallas.

Sostenibilidad ambiental:

- El control eficiente de parámetros como el pH y el oxígeno disuelto aseguró que los efluentes cumplieran con las normativas de calidad.
- La mejora en el tratamiento redujo el impacto ambiental de la planta.

La implementación de un sistema integrado de monitoreo y control en la planta de tratamiento de aguas servidas demostró ser una solución viable y efectiva para mejorar su desempeño. Este proyecto no solo responde a las necesidades actuales de la planta, sino que también sienta las bases para futuras ampliaciones y adaptaciones tecnológicas. El éxito alcanzado reafirma la importancia de combinar conocimientos en control, instrumentación y tecnologías de la información para resolver problemáticas industriales complejas. Además, pone de manifiesto el valor de la innovación como herramienta para optimizar procesos críticos en industrias esenciales como la gestión de aguas servidas.

Recomendaciones

- Ampliar el sistema de monitoreo incorporando sensores adicionales para nuevos parámetros críticos.
- Continuar con la capacitación del personal operativo en el uso de las herramientas implementadas.
- Explorar la integración de plataformas IoT para análisis avanzado y predicción de fallas mediante inteligencia artificial.

Este proyecto constituye un ejemplo práctico de cómo las soluciones tecnológicas pueden contribuir significativamente a mejorar la sostenibilidad y eficiencia de procesos industriales.

Linkografía.

Identificación de equipos para medición de parámetros biológicos.

<https://www.cl.endress.com/es>

Biblioteca de congreso nacional, búsqueda de decreto sobre aguas servidas y tratamiento de lodos.

<https://www.bcn.cl/portal/>

Identificación de equipo para medición de corriente en equipos

<https://circuitor.com>

Documentos de apoyo para utilización de Node red

<https://nodered.org/docs/>

Aprendizaje y utilización de plataforma gratuita de comunicación de datos.

<https://es.ubidots.com>

Refuerzo de Node RED - Nodos Modbus Impartido por Schneider Electric.

<https://www.youtube.com/watch?v=Ae97Fg-TMO8&t=865s>

<https://www.youtube.com/watch?v=2D4RmGR4li8&t=798s>

<https://www.youtube.com/watch?v=n1CjuDYZBZk&t=999s>

Refuerzo de Node RED – Creación de Dashboard

<https://www.youtube.com/watch?v=l9nx2regmr4>

<https://www.youtube.com/watch?v=rQw6ctoCLHo>

<https://www.youtube.com/watch?v=vQgeoUKbPhA>