



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica**

**Ingeniería y desarrollo de interfaz gráfica de control  
para planta de tratamiento de aguas industriales en  
planta embotelladora de Coca Cola**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

**AUTOR**

Manuel Ricardo GARCIA DEL AGUILA

**ASESOR**

Luis Ernesto CRUZADO MONTAÑEZ

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Garcia, M. (2023). *Ingeniería y desarrollo de interfaz gráfica de control para planta de tratamiento de aguas industriales en planta embotelladora de Coca Cola*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

| <b>Datos de autor</b>            |   |
|----------------------------------|---|
| Nombres y apellidos              | Manuel Ricardo Garcia del Aguila  |
| Tipo de documento de identidad   | DNI   |
| Número de documento de identidad | 47023233  |
| URL de ORCID                     | No Aplica   |
| <b>Datos de asesor</b>           |   |
| Nombres y apellidos              | Luis Ernesto Cruzado Montañez   |
| Tipo de documento de identidad   | DNI   |
| Número de documento de identidad | 32920395  |
| URL de ORCID                     | <a href="https://orcid.org/0000-0002-1056-8973">https://orcid.org/0000-0002-1056-8973</a> |
| <b>Datos del jurado</b>          |   |
| <b>Presidente del jurado</b>     |   |
| Nombres y apellidos              | Juan Francisco Tisza Contreras  |
| Tipo de documento                | DNI   |
| Número de documento de identidad | 08596442  |
| <b>Miembro del jurado 1</b>      |   |
| Nombres y apellidos              | Ricardo Yauri Rodriguez   |
| Tipo de documento                | DNI   |
| Número de documento de identidad | 41900467  |
| <b>Miembro del jurado 2</b>      |   |
| Nombres y apellidos              | Oscar Armando Casimiro Pariasca   |
| Tipo de documento                | DNI   |
| Número de documento de identidad | 06592392  |
| <b>Datos de investigación</b>    |   |
| Línea de investigación           | C.0.4.8 Automatización Industrial   |
| Grupo de investigación           | No Aplica   |
| Agencia de financiamiento        | No Aplica   |

|  |   |
|--|---|
| Ubicación geográfica de la investigación               | Edificio: Corporación Lindley S.A. – Planta Callao<br>País: Perú<br>Provincia: Callao<br>Distrito: Callao<br>Latitud: -12.01300<br>Longitud: -77.11288  |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Marzo 2025 - Noviembre 2015   |
| URL de disciplinas OCDE                                | Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica<br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01</a><br><br>Sistemas de automatización, Sistemas de Control<br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03</a> |



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA  
Teléfono 619-7000 Anexo 4226  
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 063/FIEE-EPIE/2023

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo La Presidencia del **MG. JUAN FRANCISCO TISZA CONTRERAS** integrado por el **MG. RICARDO YAURI RODRIGUEZ**, el **ING. OSCAR ARMANDO CASIMIRO PARIASCA** y Miembro Asesor el **MG. LUIS ERNESTO CRUZADO MONTAÑEZ**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. MANUEL RICARDO GARCIA DEL AGUILA** con código N° **08190147** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **INGENIERÍA Y DESARROLLO DE INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROL PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES EN PLANTA EMBOTELLADORA DE COCA COLA**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de **quince (15)**

Ciudad Universitaria, 20 de mayo del 2023

**MG. JUAN FRANCISCO TISZA CONTRERAS**  
Presidente de Jurado

**MG. RICARDO YAURI RODRIGUEZ**  
Miembro Jurado

**ING. OSCAR ARMANDO CASIMIRO PARIASCA**  
Miembro de Jurado

**MG. LUIS ERNESTO CRUZADO MONTAÑEZ**  
Miembro Asesor



## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Luis Ernesto Cruzado Montañez en mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación de trabajo de Suficiencia Profesional N°063/FIEE-EPIE/2023 del trabajo de suficiencia profesional cuyo título es “Ingeniería y desarrollo de interfaz gráfica de control para planta de tratamiento de aguas industriales en planta embotelladora de Coca Cola”, presentado por el bachiller Manuel Ricardo García del Aguila para optar al título profesional de Ingeniero Electrónico CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 8% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor \_\_\_\_\_

DNI:32920395

Nombres y apellidos del asesor:

Mg. Luis Ernesto Cruzado Montañez

## **DEDICATORIA**

Dedico mi informe profesional a mi familia por su apoyo incondicional; a mi madre por darme la vida y valores, a mi abuela por su amor incondicional y a mi tío por orientarme en lugar del padre que nunca tuve. Este gran paso se lo dedico a todos ustedes.

iii

## **RESUMEN**



Corporación Lindley, como embotelladora y distribuidora exclusiva de las marcas de *The Coca-Cola Company* en Perú, es una empresa símbolo de la industria de bebidas no alcohólicas por ser la creadora de la marca *Inca Kola* y por una exitosa trayectoria de más de 105 años de inversión en el Perú. Hoy, Corporación Lindley cuenta con 7 plantas de bebidas gaseosas, aguas, jugos, isotónicas y energizantes.

Ante la obligación de cumplir lo estipulado en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua; Corporación Lindley se ve en la necesidad de implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI).

El presente Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional ha sido desarrollado para describir la ingeniería elaborada en la selección de instrumentos y diseño de interfaz gráfica Hombre-Máquina de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales” implementada en la empresa Corporación Lindley, ubicado en la provincia Constitucional del Callao, ciudad de Lima, Perú. Se describirá las etapas de proceso de la planta, así como también las tecnologías en instrumentación implementadas en cada etapa del proceso y la interfaz configurada en la pantalla HMI donde el operador puede monitorear y controlar todo el proceso en global.

**Palabras clave:** Sistema de Control, Interfaz Gráfica, Instrumentación, Pantalla y Sistema MBR.

iv

## **SUMMARY**

Lindley Corporation, as the exclusive bottler and distributor of The

Coca-Cola Company brands in Peru, is a symbol of the non-alcoholic beverage industry for being the creator of the Inca Kola brand and for a successful track record of more than 105 years. investment in Peru. Today, Lindley Corporation has 7 plants for soft drinks, waters, juices, isotonic and energy drinks.

Given the obligation to comply with the provisions of the Environmental Quality and Effluent Discharge Standard: Water Resources; Lindley Corporation sees the need to implement an Industrial Wastewater Treatment Plant.

This Professional Sufficiency Work Report has been developed to describe the engineering elaborated in the selection of instruments and design of the Human-Machine graphical interface of the "Industrial Wastewater Treatment Plant" implemented in the Lindley Corporation company, located in the Constitutional province of Callao, city of Lima, Peru. The process stages of the plant will be described, as well as the instrumentation technologies implemented in each stage of the process and the interface configured on the HMI screen where the operator can monitor and control the entire process globally.

**Keywords:** Control System, Graphic Interface, Instrumentation, Screen y MBR System.

v

## INDICE

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| CAPITULO I: INTRODUCCION ..... | 1 |
| 1.1 Objetivo Principal .....   | 1 |
| 1.2 Objetivos Secundarios..... | 1 |
| 1.3 Estructura de Informe..... | 2 |

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD..... | 3  |
| 2.1 Institución donde se desarrolló la actividad.....                    | 3  |
| 2.2 Periodo de la duración de la actividad.....                          | 3  |
| 2.3 Finalidad y objetivos de la entidad .....                            | 3  |
| 2.4 Razón social.....  | 4  |
| 2.5 Dirección Postal .....   | 4  |
| 2.6 Encargado del Proyecto .....   | 4  |
| CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....                           | 5  |
| 3.1 Organización de la actividad .....                                   | 5  |
| 3.2 Finalidad y objetivos de la actividad .....                          | 5  |
| 3.2.1. Finalidad .....   | 5  |
| 3.2.2. Objetivos.....  | 6  |
| 3.3 Problema .....   | 6  |
| 3.4 Problemática .....   | 6  |
| 3.4.1 Metodología.....   | 7  |
| Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Sistema MBR ...            | 7  |
| CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES.....   | 11 |
| 4.1 Justificación.....   | 11 |
| 4.2 Metodología aplicada .....   | 11 |
| 4.2.1 Comparación de Tecnologías de Tratamiento de Aguas .....           | 11 |
| 4.3 Implementación del Sistema de Control .....                          | 13 |
| 4.3.1 Generalidades.....   | 13 |
| 4.3.2 Hardware del Sistema de Control .....                              | 13 |
| 4.4 Análisis y Presentación de Resultados .....                          | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.1 Instrumentación .....                             | 16 |
| 4.5 Diseño de Interfaz Gráfica .....                    | 21 |
| 4.5.1 Pantalla de Bienvenida.....                       | 21 |
| 4.5.2. Pantalla Principal .....                         | 21 |
| 4.5.3 Pantalla de Tamizado y Ecuación.....              | 23 |
| 4.5.4 Pantalla de Neutralización.....                   | 25 |
| 4.5.5 Pantalla de Oxidación.....                        | 26 |
| 4.5.6 Pantalla de Reactor MBR.....                      | 28 |
| 4.5.7 Pantalla de Desinfección .....                    | 31 |
| 4.5.8 Pantalla de Limpieza CIP .....                    | 32 |
| 4.5.9 Descripción de Pantallas del Menú Principal ..... | 34 |
| 4.5.10 Pantalla de Avisos .....                         | 36 |
| 4.5.11 Pantalla de Tendencias.....                      | 34 |
| 4.5.12 Pantalla de Setpoints.....                       | 36 |
| 4.5.13 Pantalla de Forzado de Válvulas. ....            | 40 |
| 4.5.14 Pantalla de Horómetros.....                      | 40 |
| 4.6 Filosofía de Control .....                          | 38 |
| 4.6.1 Generalidades.....                                | 38 |
| 4.6.2 Secuencia de Funcionamiento.....                  | 39 |
| 4.7 Conclusiones .....                                  | 49 |

vii

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| CAPÍTULO V RECOMENDACIONES..... | 57 |
|---------------------------------|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFIA..... | 58 |
|-------------------------------|----|

viii

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Ejemplo de planta de tratamiento con tecnología MBR .....  | 8  |
| <b>Figura 2:</b> MBR de membrana extrema y sumergida .....                  | 9  |
| <b>Figura 3:</b> Layout 3D de distribución de la planta.....                | 12 |
| <b>Figura 4:</b> Etapa de Neutralización (Plano OV-14-1529-001).....        | 16 |
| <b>Figura 5:</b> Cámara de Oxidación N°1.. .....                            | 17 |
| <b>Figura 6:</b> Cámara de Oxidación N°2.. .....                            | 18 |
| <b>Figura 7:</b> Cámara de Oxidación N°3. ....                              | 18 |
| <b>Figura 8:</b> Etapa Neutralización (Sensor de conductividad).. .....     | 19 |
| <b>Figura 9:</b> Pantalla de bienvenida.....                                | 21 |
| <b>Figura 10:</b> Pantalla principal.....                                   | 22 |
| <b>Figura 11:</b> Pantalla principal-etapas de sistema. ....                | 23 |
| <b>Figura 12:</b> Pantalla de Tamizado-Ecualización.....                    | 24 |
| <b>Figura 13:</b> Pantalla de Neutralización. ....                          | 25 |
| <b>Figura 14:</b> Pantalla de Oxidación.....                                | 26 |
| <b>Figura 15:</b> Pantalla de Reactor MBR.. .....                           | 28 |
| <b>Figura 16:</b> Pantalla de Desinfección.. .....                          | 31 |
| <b>Figura 17:</b> Pantalla limpieza CIP.....                                | 32 |
| <b>Figura 18:</b> Menú Principal. ....                                      | 35 |
| <b>Figura 19:</b> Pantalla de Gestión de Usuarios.....                      | 36 |
| <b>Figura 20:</b> Pantalla de Avisos. ....                                  | 36 |
| <b>Figura 21:</b> Pantalla de tendencia de sopladores BL-101 y BL-102. .... | 37 |
| <b>Figura 22:</b> Pantalla de tendencia de sopladores BL-103 y BL-104. .... | 38 |
| <b>Figura 23:</b> Pantalla de tendencias de TOC y DQO. ....                 | 38 |
| <b>Figura 24:</b> Pantalla de tendencias de Set Points. ....                | 39 |
| <b>Figura 25:</b> Pantalla de forzado de válvulas. ....                     | 40 |
| <b>Figura 26:</b> Pantalla de horómetros.....                               | 41 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 27:</b> Cálculos de dosificación de úrea..           | 45 |
| <b>Figura 28:</b> Cálculos de dosificación de ácido fosfórico. | 46 |
| <b>Figura 29:</b> Ciclo de trabajo MBR.....                    | 53 |
|  | x  |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Datos técnicos del PLC .....                          | 14 |
| <b>Tabla 2</b> Datos técnicos de módulo de comunicación.....         | 14 |
| <b>Tabla 3</b> Datos técnicos de módulo de E/S digitales.....        | 14 |
| <b>Tabla 4</b> Datos técnicos de módulo de entradas analógicas ..... | 15 |
| <b>Tabla 5</b> Datos técnicos de módulo de salidas analógicas .....  | 15 |
| <b>Tabla 6</b> Datos técnicos de Panel View. ....                    | 15 |
| <b>Tabla 7</b> Característica de sensor de ph.....                   | 15 |
| <b>Tabla 8</b> Característica de transmisor de ph.....               | 16 |
| <b>Tabla 9</b> Sensor de oxígeno disuelto. ....                      | 18 |
| <b>Tabla 10</b> Sensor de conductividad. ....                        | 19 |
| <b>Tabla 11</b> Analizador Biotector.....                            | 19 |
| <b>Tabla 12</b> Etapas en pantallas HMI.....                         | 21 |
| <b>Tabla 13</b> Lista de equipos-Etapa Tamizado y Ecuilización. .... | 22 |
| <b>Tabla 14</b> Lista de equipos-Etapa Neutralización. ....          | 24 |
| <b>Tabla 15</b> Lista de equipos-Etapa de oxidación.....             | 26 |
| <b>Tabla 16</b> Lista de equipos – Etapa de Reactor MBR.....         | 27 |
| <b>Tabla 17</b> Equipos-Etapa de desinfección .....                  | 29 |
| <b>Tabla 18</b> Equipos-Etapa CIP.....                               | 30 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 19</b> Rango de frecuencias de variador en automático (TK-102) .....  | 42 |
| <b>Tabla 20</b> Rango de frecuencias de variador en automático (TK-103) .....  | 43 |
| <b>Tabla 21</b> Rango de frecuencias de variador en automático (TK-104). ..... | 44 |

## **CAPITULO I: INTRODUCCION**

### **1.1 Objetivo Principal**

La empresa Corporación Lindley S.A.C. con sede en la Provincia Constitucional del Callao, empresa dedicada a la producción y envasado de los productos que la franquicia Coca Cola Company ofrece en el Perú; ante la obligación de cumplir lo estipulado en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua; se vió en la necesidad de implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales(PTARI), con el objetivo de que los parámetros químicos y físicos de las aguas residuales producto de las actividades manufactureras en la planta estén dentro de lo exigido por la Norma Ambiental.

El proyecto se implementó en la PTARI (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales) usando el método de lodos activados con tecnología MBR, en la empresa Corporación Lindley S.A.C. con sede en la Provincia Constitucional del Callao, empresa dedicada a la producción y envasado de los productos que la franquicia Coca Cola Company ofrece en el Perú, durante el periodo de Enero a Noviembre del año 2015. Este proyecto fue implementado por la empresa Accuaproduct S.A.C.

### **1.2 Objetivos Secundarios**

- Seleccionar adecuadamente la instrumentación necesaria en cada etapa de la planta.

2

- Diseñar e implementar la interfaz gráfica Hombre-Máquina para un adecuado control y monitoreo de la planta por parte de personal de operaciones.

### **1.3 Estructura de Informe**

Para ello, el Informe de Suficiencia Profesional se ha dividido en 5 capítulos.

El primer capítulo plantea el objetivo principal y objetivos secundarios del proyecto en el que se basa este trabajo de suficiencia profesional.

En el segundo capítulo se presenta la información del lugar en donde se realizó el proyecto mencionado en este trabajo de suficiencia profesional, periodo de duración de la actividad, finalidad y objetivos de la entidad, razón social y dirección postal.

El tercer capítulo explica la descripción de la actividad realizada, además se describe la problemática encontrada y la metodología en la cual se basó la decisión para la selección de instrumentos y diseño de la interfaz gráfica.

El capítulo 4 presenta la solución al problema de ingeniería presentando la implementación del proyecto formulado, se presenta la filosofía de control, los instrumentos seleccionados, el diseño de la interfaz gráfica y conclusiones obtenidas en la implementación de la solución

El capítulo 5 se presenta las recomendaciones que se plantean como mejoras a futuro para la optimización del proceso



Finalmente, en el capítulo 6 se menciona la bibliografía en la que se basó este trabajo de suficiencia profesional.

3

## **CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD**

### **2.1 Institución donde se desarrolló la actividad**

Las actividades vistas en el presente trabajo se realizaron en la empresa Corporación Lindley SAC, empresa dedicada a la producción y envasado de los productos que la franquicia Coca Cola Company ofrece en el Perú.

### **2.2 Periodo de la duración de la actividad**

Las actividades del presente trabajo se realizaron desde el mes de marzo del 2015 hasta noviembre del 2015.

### **2.3 Finalidad y objetivos de la entidad**

La empresa Corporación Lindley S.A. ante la obligación de cumplir lo estipulado en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua; se ve en la necesidad de implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI), con el objetivo de que los parámetros químicos y físicos de las aguas residuales producto de las actividades manufactureras en la planta estén dentro de lo exigido por la Norma Ambiental.

## **2.4 Razón social**

La razón social de la empresa en donde se realizó el presente trabajo es: Corporación Lindley S.A.

## **2.5 Dirección Postal**

Dirección Legal: Av. Javier Prado Este Nro. 6210.

Distrito: La Molina.

Departamento: Lima-Perú.

## **2.6 Encargado del Proyecto**

Pool Cruz Espinoza.

**Correo:** cruz.pool@gmail.com

# **CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD**

## **3.1 Organización de la actividad**

De acuerdo con los objetivos del presente trabajo de suficiencia profesional, las actividades se organizaron de la siguiente manera:

- Selección de instrumentos para cada proceso de la Planta de

Tratamiento de Aguas Industriales.

- Selección de Programador Lógico Programable (PLC) para controlar el proceso.
- Diseño de interfaz gráfica adecuada para que el operador de la planta realice un correcto monitoreo y control de esta.

## **3.2 Finalidad y objetivos de la actividad**

### **3.2.1. Finalidad**

La empresa Corporación Lindley S.A.C. con sede en la Provincia Constitucional del Callao, empresa dedicada a la producción y envasado de los productos que la franquicia Coca Cola Company ofrece en el Perú; ante la obligación de cumplir lo estipulado en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua; se vió en la necesidad de implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales(PTARI), con el objetivo de que los parámetros químicos y físicos de las aguas residuales producto de las actividades manufactureras en la planta estén dentro de lo exigido por la Norma Ambiental.

6

El proyecto se implementó en la PTARI (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales) usando el método de lodos activados con tecnología MBR, en la empresa Corporación Lindley S.A.C. con sede en la Provincia Constitucional del Callao, empresa dedicada a la producción y envasado de los productos que la franquicia Coca Cola Company ofrece en el Perú, durante el periodo de Enero a Noviembre del año 2015. Este proyecto fue implementado por la empresa Accuaproduct S.A.C.

### **3.2.2. Objetivos**

**3.2.2.1. Objetivo general.** El objetivo general de este trabajo es

implementar la ingeniería de automatización de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales, que a partir de ahora la denominaremos como PTARI.

### **3.2.2.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar adecuadamente la instrumentación necesaria en cada etapa de la planta.
- Diseñar e implementar la interfaz gráfica Hombre-Máquina para un adecuado control y monitoreo de la planta por parte de personal de operaciones.

## **3.3 Problemática**

Con el objetivo de que los parámetros químicos y físicos de las aguas residuales producto de las actividades manufactureras en la planta estén dentro de lo exigido por la Norma Ambiental, es necesario hacer una correcta selección de instrumentos de medición para obtener valores confiables y precisos para de esa manera aplicar un método de control adecuado para mantener los parámetros químicos del efluente dentro de lo regulado por la Norma Ambiental.

7

Dar una solución al problema implica tener conocimientos sobre contaminación ambiental, parámetros a analizar en el tratamiento de los efluentes industriales y principios de medición de las variables a controlar. Lo cual nos permitirá entender a cabalidad la ingeniería desarrollada en este informe profesional.

## **3.4 Metodología**

### **3.4.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Sistema MBR**

Para las empresas que requieren una planta de tratamiento de aguas

residuales o necesitan ampliar su volumen de tratamiento, se ha desarrollado un nuevo sistema que permite optimizar el proceso de purificación del agua, teniendo en cuenta que en la actualidad los procesos de tratamiento y el cuidado de nuestras fuentes hídricas, se ha vuelto un tema medio ambiental de suma importancia. [1]

Los reactores biológicos de membrana (MBR, siglas en inglés) son la tecnología de tratamiento secundario para efluentes, domésticos e industriales, de más rápida expansión en los últimos años. Este sistema ha combinado la tecnología convencional de lodos o fangos activados con el de filtración de membrana. Como es de esperarse, el tratamiento ulterior por membranas, permite obtener efluentes de mucha mejor calidad comparado con el de lodos activados en lo que respecta a la remoción de material orgánico, sólidos suspendidos y bacterias. [1]

Si bien su costo es todavía superior, conlleva algunas ventajas que sería necesario tomar en cuenta, tal como la disminución del tamaño de la planta, la eliminación de los clarificadores y una mejor calidad de agua que va de acuerdo a la cada vez más exigente norma ambiental. El objetivo es hacer que la planta de tratamiento de aguas residuales sea mucho más efectiva, con procesos menos voluminosos y más completos en la purificación del agua. [1]

8

El proceso de lodos activados es de larga data y es muy conocido, por lo que hablaremos directamente de las membranas consideradas como la parte principal de un sistema MBR. La filtración por membranas ha sido siempre usada como tratamiento terciario para los procesos biológicos, como por ejemplo la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa. Sin embargo, para la tecnología MBR el hecho de que la membrana esté en contacto con los lodos activados, es considerado como tratamiento secundario con un efluente final de calidad que puede reusarse. [1]



**Figura 1:** Ejemplo de planta de tratamiento con tecnología MBR Fuente: *Tratamientos Específicos de vertidos industriales. García Román*

La porosidad de las membranas para los MBR varía de acuerdo al fabricante y están en el orden de 0.2 y 0.02  $\mu\text{m}$ , parecidas a las utilizadas entre la microfiltración y ultrafiltración. El material que se usa para estas membranas es similar a sus pares usadas en el tratamiento terciario como poliamidas, polisulfona, poliacrolinitrilo, etc. [2]

En cuanto a la geometría de las membranas las variedades más conocidas son de fibra hueca y planas. Las membranas de fibras huecas son capilares delgados y largos que filtran el agua de afuera para adentro recolectando internamente el agua tratada. En el caso de las membranas

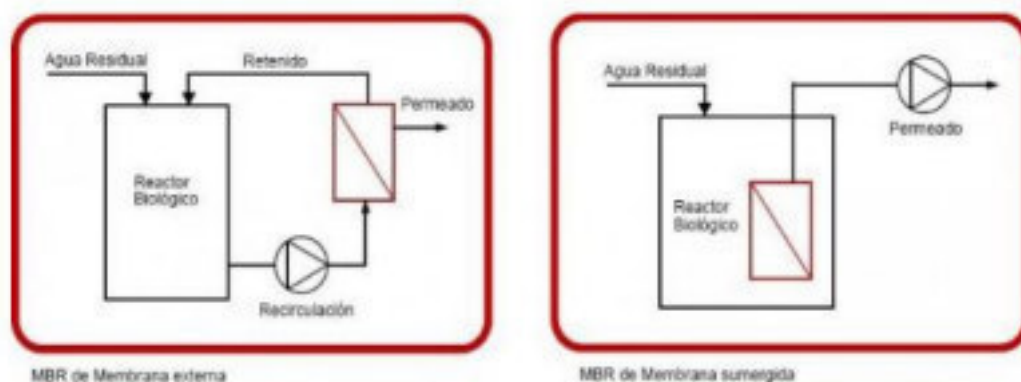
9

planas que usualmente están soportadas en un marco metálico, el agua que fluye a través de las membranas y el permeado es recolectado en tuberías que salen del interior de las membranas en un proceso que opera al vacío. [2]

Se pueden diferenciar 2 tipos de membrana por la posición donde se les coloque, unas pueden ir colocadas de manera externa al tanque de aireación y otras pueden estar dentro del tanque o sumergidas. Esta última

alternativa es de mayor aceptación, a la que se le agrega una línea de aire para limpiar las membranas del licor mixto y prevenir el ensuciamiento. [2]

Cada cierto tiempo se hace un retrolavado y en periodos más espaciados dependiendo de la situación de las membranas se pueden hacer lavados con productos químicos diluidos. Si se sigue los procedimientos de limpieza dados por el fabricante, se pueden recuperar las membranas casi al 100%. [2]



**Figura 2:** MBR de membrana externa y sumergida Fuente: Tratamientos Específicos de vertidos industriales. García Román.

Las configuraciones que se pueden diseñar con un sistema MBR dependen de cada proyecto y los objetivos particulares de remoción. Si por ejemplo necesitamos remover nutrientes en exceso, como el nitrógeno de una planta de tratamiento biológica, requerimos llegar a la denitrificación, para ello se suele colocar una zona anóxica antes o después del tratamiento aerobico

10

dependiendo de los requerimientos finales de nitrato o nitrógeno total. Y si también requerimos mejorar la remoción biológica de otro nutriente como el fósforo, se puede adicionar una zona anaeróbica al proceso. [2]

A diferencia de los lodos activados, donde el licor mezcla solo llega

entre 2,000 a 4,000 ppm de sólidos suspendidos, en el sistema MBR se puede llegar hasta 10,000 o 12,000 ppm de sólidos suspendidos. La gran cantidad de biomasa como licor mixto se asocia a una mayor respiración endógena y por lo tanto se reduce la producción de lodo. Esta característica de poder aumentar la concentración del licor mixto hace posible que se pueda ampliar en 2 o 3 veces la capacidad de una planta de tratamiento de aguas residuales existente, con apenas un mínimo de acondicionamiento. [2]

Finalmente, la calidad del agua que se puede obtener con el MBR puede llegar a valores menores a 5 ppm de DBO<sub>5</sub>, menos de 0.5 NTU de turbidez y menos de 1 ppm en sólidos suspendidos. [2]

11

## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES**

### **4.1 Justificación**

El proyecto de implementación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, conllevó a un análisis de las alternativas en base a qué tecnología debería implementarse la planta de tratamiento. De igual forma se tuvo que definir con que PLC se haría la automatización integral de todo el proceso.

### **4.2 Metodología aplicada**

#### ***4.2.1 Comparación de Tecnologías de Tratamiento de Aguas***

El debate surgió entre dos alternativas de tecnología: Tratamiento por Lodos Activados y Tratamiento con Tecnología MBR. A continuación, pasamos a describir las comparaciones entre ambas tecnologías.



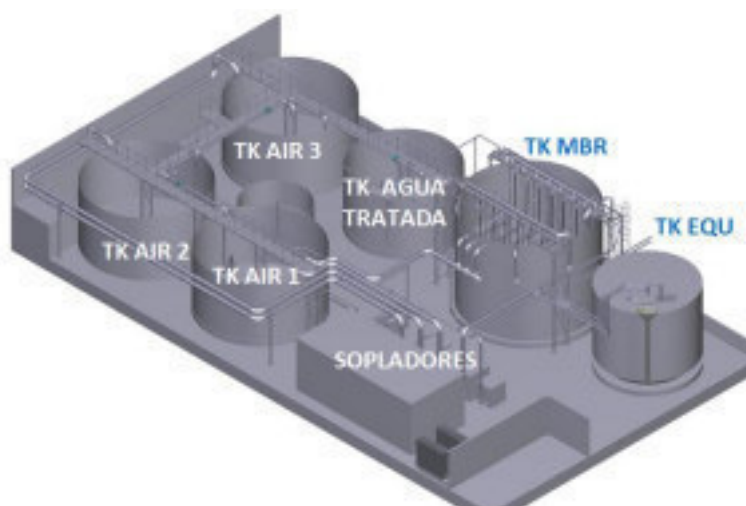
## Calidad del efluente

Aplicando la tecnología MBR se obtiene una mejor calidad del efluente, si lo comparamos con Lodos Activados. Esto debido a que usando la tecnología MBR se puede obtener un lodo de hasta 12,000 ppm de sólidos suspendidos, mientras que usando la tecnología de Lodos Activados obtendríamos como máximo un lodo de hasta 4,000 ppm. Esto quiere decir que implementado una planta con tecnología MBR obtenemos hasta 3 veces más de capacidad que si tuvieran una planta con Lodos Activados. [2]

12

## Dimensionamiento de la planta

Si bien implementar la tecnología MBR tiene un costo todavía superior, con respecto a la tecnología de Lodos Activados, conlleva algunas ventajas que sería necesario tomar en cuenta, tal como la disminución del tamaño de la planta, esto principalmente debido a que se elimina los clarificadores y las Membranas MBR van montadas dentro del tanque aeróbico, donde se separa el agua de la bio-masa.



**Figura 3:** Layout 3D de distribución de la planta. Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales. OZ Perú.

## **Comparaciones**

A diferencia de la tecnología de Lodos Activados, la tecnología MBR posee la particularidad de poder adicionar etapas para reducir o adicionar componentes en específico, tales como fósforo, ácido clorhídrico, entre otros.

13

## **4.3 Implementación del Sistema de Control**

### **4.3.1 Generalidades**

El sistema de control de la PTARI por tecnología MBR, está estructurado con el propósito de optimizar y controlar el proceso de degradación biológica y de separación por membranas, controlar el oxígeno disuelto, la presión trans-membrana y la calidad del agua permeada.

Las siguientes acciones serán controladas desde el Panel View:

- Encendido/apagado del sistema.
- Arranque y parada de los motores de los sopladores, bombas sumergibles y bombas loburales.
- Arranque y parada de las bombas dosificadoras.
- Arranque y parada de agitadores.
- Medición y monitoreo del flujo instantáneo del agua de proceso. • Medición y monitoreo de oxígeno disuelto y conductividad.

### **4.3.2 Hardware del Sistema de Control**

El sistema de control está en base a un controlador lógico programable de la familia Simatic S7-1200 de Siemens.

La interface del operador está dada por un Panel View (TP 1200) instalado dentro del tablero de control TC-01.

**4.3.2.1 PLC's S7-1200 6ES7215-1AG40-0XB0.** 02 PLC's S7-1200  
con las siguientes características:

14

### **Tabla 1**

#### *Datos técnicos del PLC*

**Designación del Producto CPU 1215C DC/DC/DC**

Voltaje de Alimentación 24 V DC

Máximo Consumo de Corriente 1.5 A con todos los módulos de expansión

Salida de Corriente 1.6 A máx.

Protocolos de Comunicación PROFINET, ETHERNET TCP / IP

**4.3.2.2 Módulo de Comunicación Ethernet CSM.** 1 módulo de  
comunicación Ethernet.

### **Tabla 2**

#### *Datos técnicos de módulo de comunicación*

Designación del Producto **CSM 1277**

Voltaje de Alimentación 24 V DC

Máximo Consumo de Corriente 70 mA

Longitud de conexión máxima 100 m

Protocolos de Comunicación PROFINET, ETHERNET TCP / IP

**4.3.2.3 Módulos de E/S Digitales.** 04 módulos de 16 entradas  
digitales/16 salidas digitales.

### **Tabla 3**

#### *Datos técnicos de módulo de E/S digitales*

Designación del Producto **6ES7223-1BL32-0XB0** Voltaje de

Alimentación 24 V DC

E/S Digitales 16/16

Salida de Corriente 1.6 A máx.

**4.3.2.4 Módulos de Entradas Analógicas.** 05 módulos de 8 entradas analógicas 6ES7231-4HF32-0XB0.

**Tabla 4**

*Datos técnicos de módulo de entradas analógicas*

**Designación del Producto 6ES7231-4HF32-0XB0** Voltaje de Alimentación 24 V DC  
Entradas Analógicas 8

Señales 4 a 20 mA, 0 a 20 mA,  $\pm 10$  V,  $\pm 5$ V,  $\pm 2,5$  V

Resolución 12 bits

**4.3.2.5 Módulos de Salidas Analógicas 4.** 02 módulos de salidas analógicas 6ES7232-4HD32-0XB0.

**Tabla 5**

*Datos técnicos de módulo de salidas analógicas*

**Designación del Producto 6ES7232-4HD32-0XB0**

Voltaje de Alimentación 24 V DC

Salidas Analógicas 4

Señales -10 a +10 V, 0 a 20 mA Resolución 12 bits

**4.3.2.6 Panel View.** 01 Panel View TP 1200 Comfort 6AV2124-0MC01-0AX0.

**Tabla 6**

*Datos técnicos de Panel View.*

**Designación del Producto 6AV2124-0MC01-0AX0**

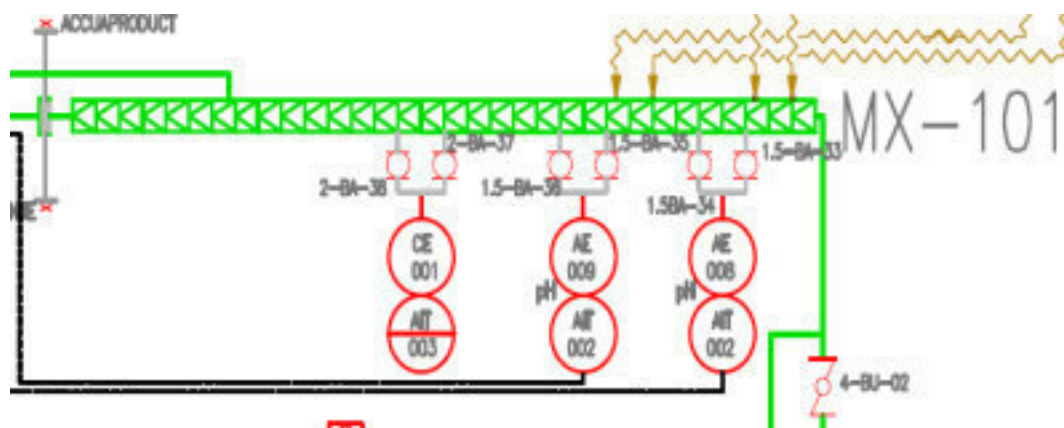
Voltaje de Alimentación 24 V DC

Protocolos de Comunicación PROFINET, PROFIBUS, MPI Software de Configuración WIN CC V 12 o versiones mayores Resolución 1280x800

## 4.4 Análisis y Presentación de Resultados

### 4.4.1 Instrumentación

**4.4.1.1 Ph.** En la etapa de neutralización se instalaron dos sensores de ph enlazados a un transmisor de 4-20 mA que retransmite las lecturas al tablero de control:



**Figura 4:** Etapa de Neutralización (Plano OV-14-1529-001). Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas del sensor son las siguientes:

#### Tabla 7

*Características sensor de ph.*

##### Marca HACH

Modelo DPD1P1

Precisión  $\pm 0.02$  ph

Material PEEK

Temperatura de Trabajo  $-5$  a  $105^{\circ}\text{C}$

Rango de ph 0 a 14 ph

Presión Máxima 10.7 bar

Repetibilidad  $\pm 0.05$  ph

Las características técnicas del transmisor enlazado a ambos sensores son:

**Tabla 8**

*Características Transmisor de ph.*

**Marca HACH**

Modelo 4 sc 200

Canales de salida 2 (4-20 mA)

Comunicación HART 7.2

Material Policarbonato

Alimentación 100-240 Vac

Salidas Digitales 4 salidas Rele

Salidas Analógicas No

**4.4.1.2 Oxígeno Disuelto.** En la etapa de oxidación se instalaron 3 sensores de Oxígeno Disuelto (uno en cada tanque de oxidación), enlazados a dos transmisores con salida de 4-20 mA que retransmite las lecturas al tablero de control.



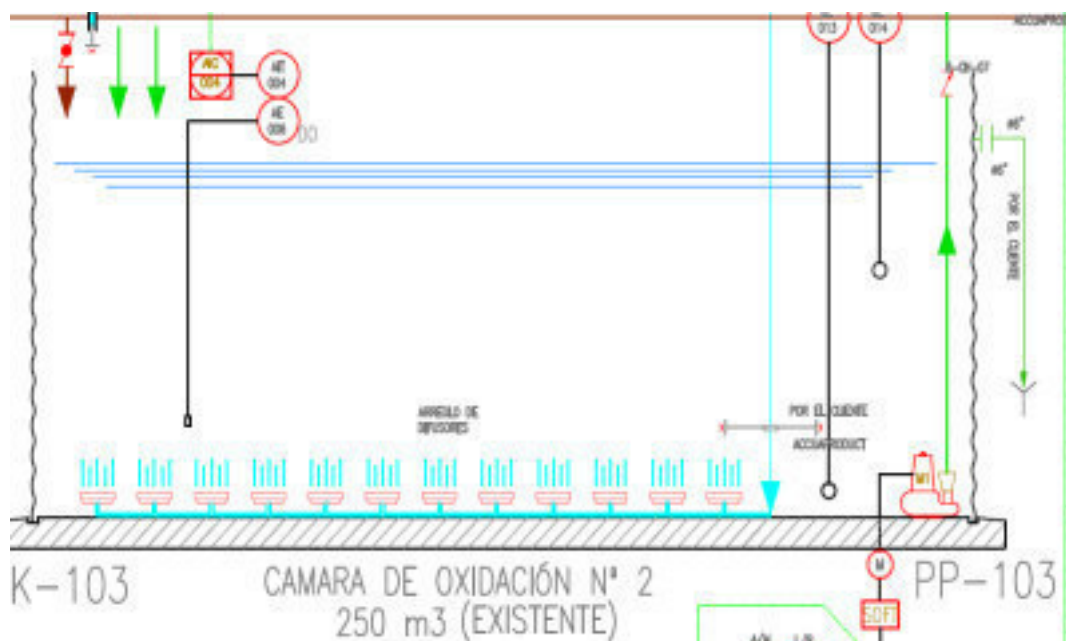


Figura 6: Cámara de Oxidación N°2. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7: Cámara de Oxidación N°3. Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas del sensor son las siguientes:

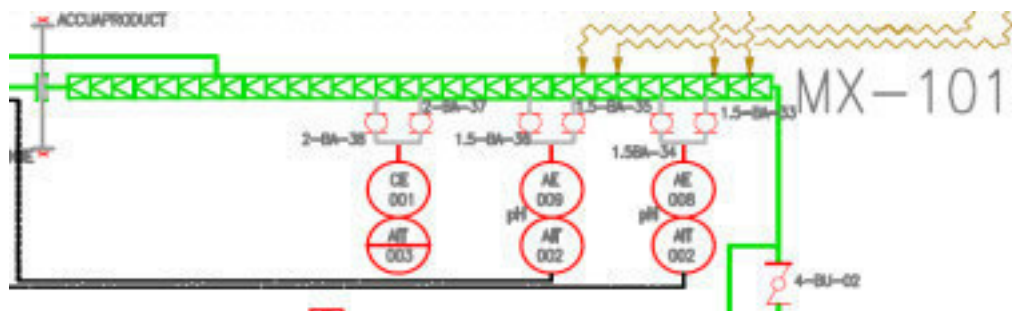
**Tabla 9**

*Sensor de Oxígeno Disuelto.*

Marca 4HACH  
Modelo LDO 2  
Precisión 0.1 ppm  
Material Acero Inoxidable  
Rango 0-20 mg/l o 0 a 200% de saturación  
Temperatura de  
Proceso 0 a 50 °C  
Presión Máxima 3.5 bar  
Tiempo de Respuesta 60 s  
Dimensiones (DxL) 48.25 mm x 254 mm

Los sensores de Oxígeno Disuelto están enlazados a dos transmisores HACH sc 200 cuyas características ya fueron descritas en la tabla 5.2.

**4.4.1.3 Conductividad.** En la etapa de Neutralización, se instaló un sensor de conductividad, enlazado a un transmisor de salida 4-20 mA que retransmite la lectura al tablero de control.



**Figura 8:** Etapa Neutralización (Sensor de conductividad). Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas del sensor son las siguientes:



## Tabla 10

### *Sensor de Conductividad.*

**Marca HACH**

Modelo D3727E2T

Precisión 0.01%

Material PEEK

Material del sensor Polipropileno

Rango 200 - 2000000 uS/cm

Temperatura de

Operación -10 a 200°C

Sensor de Temperatura Pt100

Montaje Convertible

El sensor de Conductividad está enlazado a un transmisor HACH sc 200 cuyas características ya fueron descritas en la tabla 5.2.

**4.4.1.4. Analizador Biotector.** En la etapa de Neutralización, se instaló el analizador Biotector, que nos permite medir los parámetros de DQO, DBO, Nitrógeno Total y Fosforo Total los cuales retransmiten cada uno de los parámetros hacia el Tablero de Control.

## Tabla 11

### *Analizador Biotector.*

**Marca HACH**

Modelo BIOTECTOR B7000I

Parámetros DBO, DQO, Fosforo Total, Nitrógeno Total Rango de Medición 0 - 20000 mg/L

Canales de Retransmisión 6

Precisión 3% o 0.3 mg/L

Tiempo de Ciclo 6.5 min

Rango de Cloruro Admisible Hasta 30%

Temperatura de Muestra 2-60°C

Temperatura Ambiente 5-40°C

Humedad 5-85%

Tamaño de Partículas Hasta 2 mm

Alimentación 115 a 230 Vac

## 4.5 Diseño de Interfaz Gráfica

### 4.5.1 Pantalla de Bienvenida

Al energizar el sistema se muestra la pantalla de bienvenida:

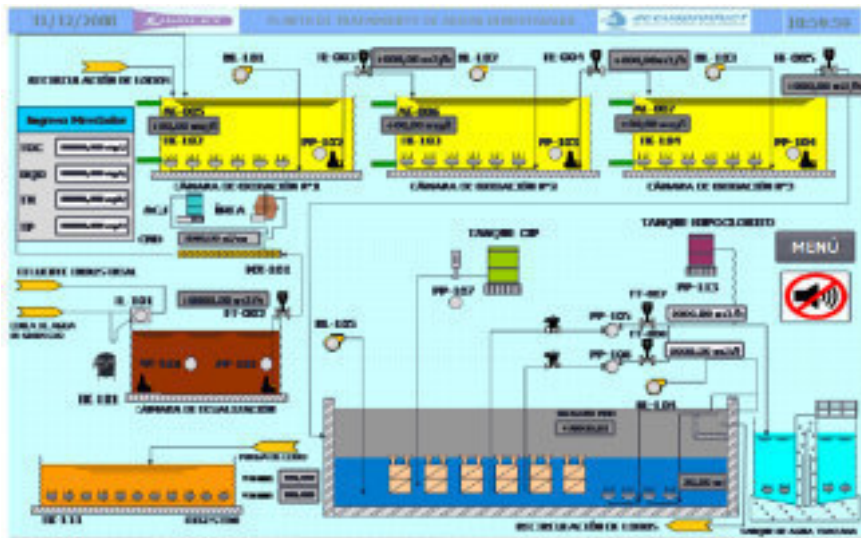


**Figura 9:** Pantalla de bienvenida. Fuente: Elaboración propia.

Esta pantalla muestra la planta de tratamiento de agua. Presionar sobre la imagen de la planta para ir a la PANTALLA PRINCIPAL.

### 4.5.2. Pantalla Principal

Desde la pantalla principal se puede ingresar a la pantalla de cada etapa para monitorear y poner en funcionamiento los equipos correspondientes.



**Figura 10:** Pantalla principal. Fuente: Elaboración propia.

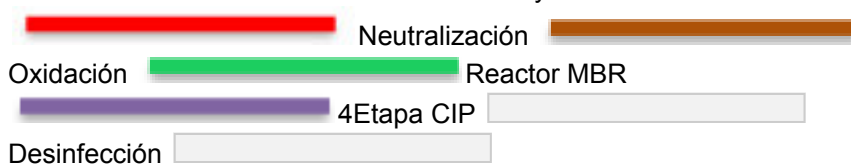
Para ingresar a cada una de las etapas se debe presionar en la PANTALLA PRINCIPAL sobre el área correspondiente a cada etapa de acuerdo a la siguiente relación:

**Tabla 12**

*Etapas en pantalla HMI.*

ETAPAS DEL SISTEMA

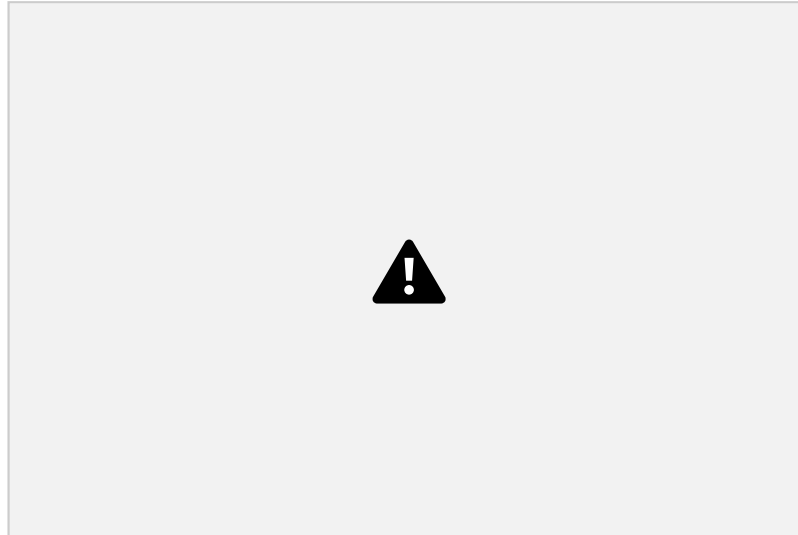
ETAPA COLOR DE RECUADRO Tamizado y Ecuación



En cada una de las pantallas correspondientes a las etapas del sistema se podrá:

- Controlar en forma manual y automática (de acuerdo a filosofía de control) los equipos correspondientes.
- Se podrá apreciar el estado de cada equipo.

- Se podrá observar los valores que arrojan los sensores de cada etapa.



**Figura 11:** Pantalla principal-etapas de sistema. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.5.3 Pantalla de Tamizado y Ecuación**

La pantalla de tamizado se muestra en la figura 33. En esta pantalla se pueden manejar el funcionamiento de los equipos:

#### **Tabla 13**

*Lista de equipos – Etapa Tamizado y Ecuación*

##### **ACTIVACION DE EQUIPOS ETAPA TAMIZADO Y ECUALIZACION**

EQUIPO TAG

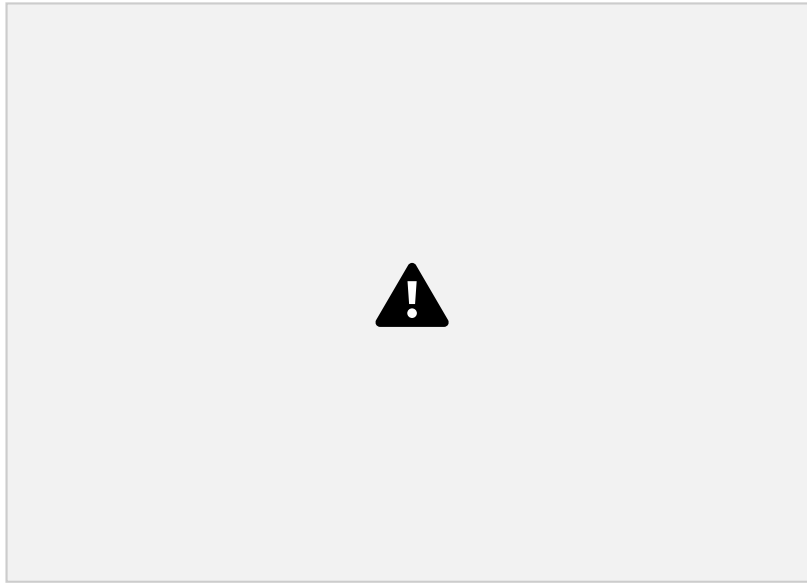
Tamiz Auto Limpiente FL-101

Válvula Solenoide de Ingreso Agua Limpieza Tamiz SV-001

Bomba de Agitación Mix Jet Ecuación AG-101

Bomba Ecuación PP-101

Electroválvula Descarga Bomba Ecuación XV-010

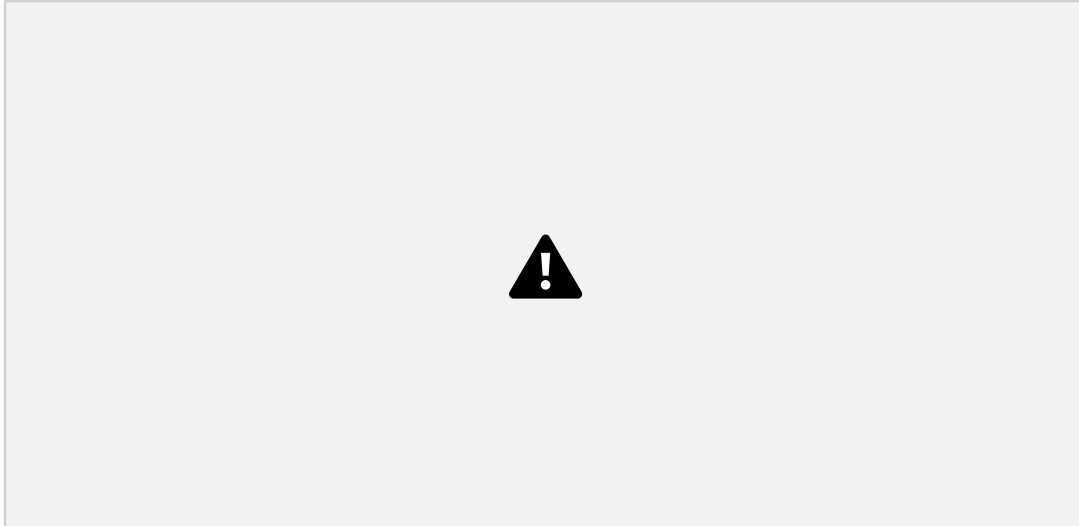


**Figura 12:** Pantalla de Tamizado-Ecualización. Fuente: Elaboración propia.

Secuencia de encendido en automático:

1. Se deberá de colocar todos los selectores de 3 posiciones (MOA) de los equipos listados en el cuadro anterior en automático. 2. Presionar la imagen del agitador AG-101, aparecerá un cuadro con título AG-101, luego presionar el botón START para que la bomba del agitador encienda automáticamente, controlado únicamente por el control de nivel bajo.
3. Presionar la imagen del tamiz FL-101, aparecerá un cuadro donde se puede escoger el modo de arranque, escogeremos AUTOMÁTICO. El control automático del tamiz es gobernado por la señal de los switches de flujo instalados en las líneas de ingreso al tanque ecualizador.
4. Presionar la imagen de la Bomba Ecualizador PP-101, aparecerá un cuadro donde se puede escoger el modo de arranque, escogeremos AUTOMÁTICO. La Bomba Ecualizador PP-101 enviará un flujo dependiendo del valor de SETPOINT de flujo ingresando en la PANTALLA DE SETPOINTS.

#### 4.5.4 Pantalla de Neutralización



**Figura 13:** Pantalla de Neutralización. Fuente: Elaboración propia.

En la Pantalla de Neutralización se puede manejar el funcionamiento de los equipos:

#### Tabla 14

##### *Lista de equipos –Etapa Neutralización*

ACTIVACION DE EQUIPOS ETAPA NEUTRALIZACION

EQUIPO TAG

Bomba Dosificadora de Urea PP-109

Agitador Preparador de Urea AG-103

Válvula Solenoide Agua para Preparación de Urea SV-002

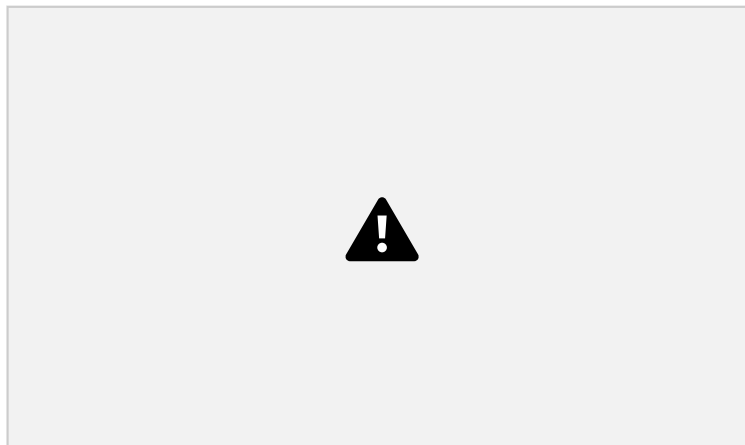
Bomba Dosificadora de Acido Fosfórico PP-110

Secuencia de encendido en automático:

1. Se deberá de colocar los selectores de 3 posiciones (MOA) de los equipos listados en el cuadro anterior en automático.

2. Ingresar los parámetros de dosificación: Concentración a preparar, porcentaje de remoción de DQO y Ajuste de Dosificación.
3. Presionar el botón automático en el recuadro del Dosificador de Ácido Fosfórico PP-110 y en el recuadro del Dosificador de Urea PP-109. La dosificación se realizará automáticamente según la regulación de acorde a las fórmulas indicadas en la Filosofía de Control, y los valores de TP, TN y DQO son brindadas por el equipo analizador en línea Biotector 7000.
4. El agitador de Urea AG-103 y la válvula solenoide de preparación de Úrea SV-002 se deberán activar al inicio de la preparación de Úrea; se deberá ingresar los tiempos en los cuadros correspondientes y luego presionar el botón automático. Esto permitirá mantener el agitador encendido y la electroválvula abierta durante el tiempo que ha sido seteado.

#### **4.5.5 Pantalla de Oxidación**



**Figura 14:** Pantalla de Oxidación. Fuente: Elaboración propia.

En la pantalla de oxidación se puede manejar el funcionamiento de los equipos:

## Tabla 15

### *Lista de equipos-Etapa de Oxidación*

ACTIVACION DE EQUIPOS ETAPA OXIDACION

EQUIPO TAG

Bomba Cámara Aireación N°1 PP-102

Soplador Cámara Aireación N°1 BL-101

Bomba Cámara Aireación N°2 PP-103

Soplador Cámara Aireación N°2 BL-102

Bomba Cámara Aireación N°3 PP-104

Soplador Cámara Aireación N°3 BL-103

Secuencia de encendido en automático:

1. Se deberá de colocar todos los selectores de 3 posiciones (MOA) de los equipos listados en el cuadro anterior en automático. 2. Al presionar sobre los sopladores BL-101, BL-102 y BL-103 aparecerá un cuadro con el TAG del soplador seleccionado, indicando las opciones de manual y automático. Presionar el botón AUTO. Tener en cuenta que en funcionamiento normal los sopladores no se apagarán, solo variarán la frecuencia de funcionamiento dependiendo del valor de Oxígeno Disuelto en el tanque correspondiente, cuyo valor es establecido ingresando a la PANTALLA DE SETPOINTS. Los rangos máximos y mínimos de frecuencia en el variador son establecidos en el menú del variador. 3. Al presionar sobre las bombas PP-102, PP-103 y PP-104 aparecerá un cuadro con el TAG de la bomba seleccionada, indicando las opciones de manual y automático. Presionar el botón AUTO.

Dichas bombas son gobernadas por:

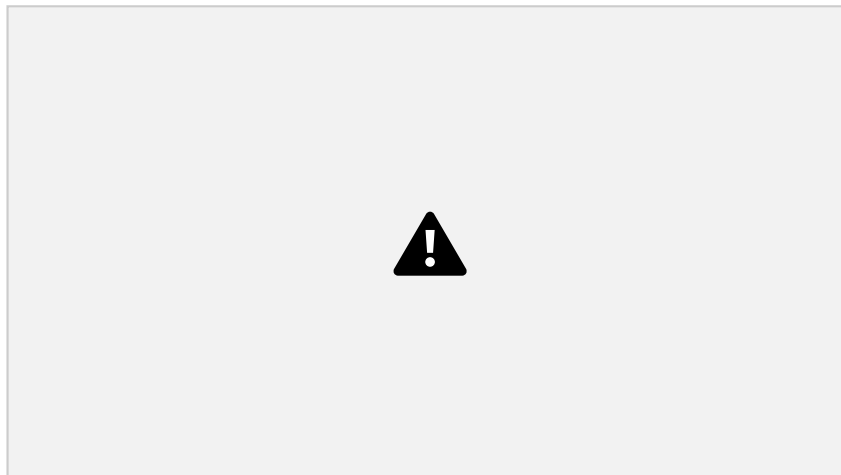
- Control de nivel bajo bajo; al activarse este control de nivel, inmediatamente apagarán las bombas para evitar que trabajen



en vacío; esto sucederá cuando por alguna razón el tanque queda sin efluente.

- Control de nivel alto; se ha establecido que ha determinada altura del tanque se encienda la bomba sumergible y al bajar determinada altura se apague para evitar, primero, que el tanque se rebalse y el segundo que el tanque se queda vacío.
- El valor del flujo de envío de las bombas sumergibles es seteado en las pantallas de setpoints, el cual es regulado por un lazo de control, entre sensor de flujo y variador de la bomba correspondiente.

#### **4.5.6 Pantalla de Reactor MBR**



**Figura 15:** Pantalla de Reactor MBR. Fuente: Elaboración propia.

En la pantalla de reactor MBR se puede manejar el funcionamiento de los siguientes equipos:

**ACTIVACION DE EQUIPOS ETAPA REACTOR MBR**

EQUIPO TAG

4Soplador Scouring Membranas BL-105

Soplador Cámara MBR BL-104

Electroválvula Permeado Piso Inferior XV-003

Electroválvula Permeado Piso Superior XV-004

Electroválvula para limpieza de difusores XV-007

Bomba Permeado Piso Inferior PP-105

Bomba Permeado Piso Superior PP-106

Secuencia de encendido en automático:

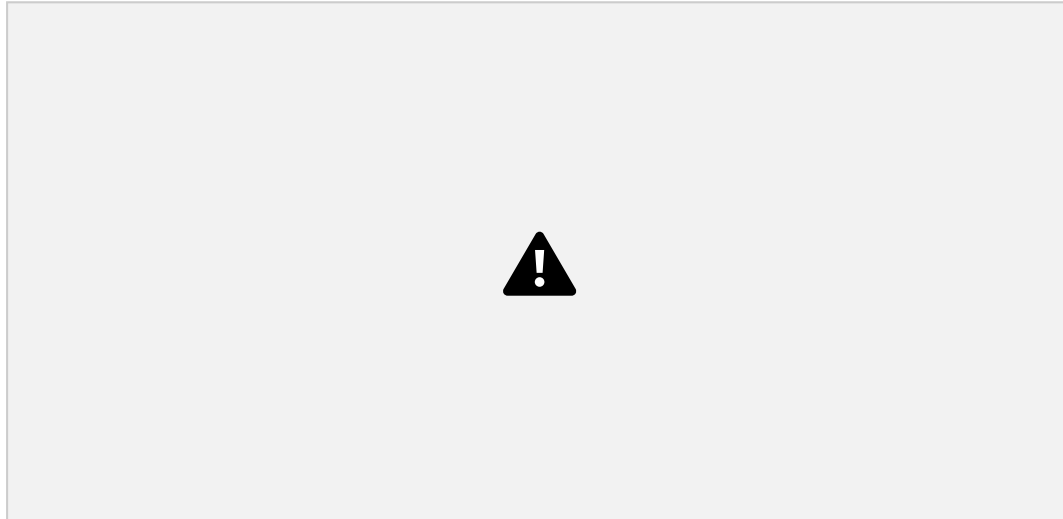
1. Se deberá colocar todos los selectores de 3 posiciones (MOA) de los equipos listados en el cuadro anterior en automático. 2. Al presionar sobre el soplador BL-104, aparecerá un cuadro con el TAG del soplador seleccionado, indicando las opciones de manual y automático. Presionar el botón AUTO. Tener en cuenta que en funcionamiento normal el soplador no se apagará, solo variará la frecuencia de funcionamiento dependiendo del valor de Oxígeno Disuelto en el tanque correspondiente, cuyo valor es establecido ingresando a la pantalla de setpoints. Los rangos máximos y mínimos de frecuencia en el variador son establecidos en el menú del variador.
3. Al presionar sobre el soplador BL-105, aparecerá un cuadro con el TAG del soplador seleccionado, indicando las opciones de manual y automático. Presionar el botón AUTO. Tener en cuenta que en funcionamiento normal el soplador no se apagará ni variará el caudal de aire, este está dimensionado para trabajar a los 60 Hz. El soplador tiene un medidor de flujo de aire a la descarga, el cual tiene asignado un valor de set point, si el caudal se encuentra por debajo

del setpoint, el soplador y el sistema de filtración se apagará, ya

que, al no tener el caudal mínimo requerido de aire, las membranas se ensuciarán rápidamente. El soplador cuenta con un arrancador suave.

4. Las electroválvulas de permeado de cada piso de membranas (XV 003/004) se aperturarán cuando la filtración inicie en automático.
5. La electroválvula para limpieza de difusores (XV-007) se aperturará una vez al día y según la hora y el periodo de tiempo que se ha seteado en la pantalla de setpoints.
6. El encendido de las bombas lobulares PP-105/106, se realizará cuando la filtración se inicie de manera automática. Las bombas son controladas por:
  - El valor del flujo de permeado es seteado en la pantalla de setpoints; los valores deben ser iguales en ambas bombas. El flujo tiene un lazo de control entre los sensores de flujo para cada bomba y sus respectivos variadores.
  - Las bombas se encenderán luego de tener la confirmación de arranque del soplador BL-105 y de apertura de válvulas de permeado.
  - Las bombas se apagarán cuando se detecte un valor de presión transmembrana (PTM) y adicionalmente se apagará todo el sistema de filtrado.
7. Luego de haber realizado los pasos descritos anteriormente, se deberá colocar el selector en el Panel View en AUTO-ON y el sistema de filtrado arrancará automáticamente según su secuencia.

#### **4.5.7 Pantalla de Desinfección**



**Figura 16:** Pantalla de Desinfección. Fuente: Elaboración propia.

En la pantalla de desinfección se puede manejar el funcionamiento de los siguientes equipos:

### **Tabla 17**

#### *Equipos-Etapa de desinfección*

##### **ACTIVACION DE EQUIPOS ETAPA DESINFECCION**

EQUIPO TAG

Bomba de Hipoclorito de Sodio PP-113

*Nota.*

Secuencia de encendido en automático:

1. Para el funcionamiento de la bomba de Hipoclorito de Sodio, se deberá presionar el botón AUTOMATICO.
2. En automático, la bomba de cloro dependerá de:
  - Nivel de químico en el tanque de químico, de ser bajo la bomba dosificadora se apagará.

- La bomba depende exclusivamente del proceso de filtración, por lo

que permanecerá encendida mientras se encuentre el sistema filtrando, caso contrario se apagará.

#### **4.5.8 Pantalla de Limpieza CIP**



**Figura 17:** Pantalla limpieza CIP. Fuente: Elaboración propia.

En la pantalla de limpieza CIP se puede manejar el funcionamiento de los equipos:

#### **Tabla 18**

##### *Equipos-Etapa CIP.*

ACTIVACION DE EQUIPOS ETAPA CIP  
EQUIPO TAG  
Electroválvula Emergencia CIP Piso Superior XV-009  
Electroválvula Emergencia CIP Piso Inferior XV-008  
Electroválvula CIP Piso Inferior XV-005  
Electroválvula CIP Piso Superior XV-006  
Bomba CIP Químico Diluido PP-107

33

Para el funcionamiento de esta etapa se debe detener el proceso de filtración del MBR, esto es, ir a la pantalla del reactor MBR y seleccionar AUTO-OFF.

El proceso de limpieza CIP, se realiza por etapas, cada etapa contempla un piso de membranas y el llenado de químico es por gravedad (sin presión).

Se deberá preparar el químico diluido en el tanque de 10m<sup>3</sup> para lo cual se adiciona el químico concentrado en el tanque de 1m<sup>3</sup> y mediante bombeo se llena el tanque de 10m<sup>3</sup> y se completa con agua, según la concentración de químico indicada. Para ello se deberá controlar la bomba CIP de forma manual (colocar el selector de tablero de control en manual y accionar con la botonera de campo cuando lo requiera).

Se debe tener en cuenta que para esta preparación de químicos se cuenta con válvulas manuales las cuales deberán ser posicionadas de acorde a lo que se requiera realizar (trasvase de químico, mezcla de químico, etc.).

La primera preparación del tanque de 10m<sup>3</sup> es un volumen requerido para la limpieza de un piso; para realizar la limpieza del otro piso se deberá repetir el procedimiento de preparación del químico.

Una vez que se tenga el químico preparado realizar la secuencia de encendido:

1. Comprobar que la secuencia de filtración ha sido detenida por completo.
2. Ir a la pantalla de limpieza CIP y presionar el botón APERTURA DE VALVULAS PISO SUPERIOR.
3. Presionar START en el recuadro de la bomba PP-107, para ello el selector en el tablero de la bomba CIP debe estar posicionado en automático.

34

4. Una vez encendida la bomba CIP se deberá regular si recirculación al tanque de 10m<sup>3</sup> de tal modo que el llenado de las membranas sea

por gravedad y sin rebalsar el químico.

5. Concluido el vaciado del tanque de 10m<sup>3</sup>(cuenta con control de nivel bajo) presionar el botón CERRADO DE VÁLVULAS.
6. Para realizar el lavado del piso inferior, se deberá repetir los pasos descritos anteriormente, pero seleccionando ahora APERTURA DE VÁLVULAS PISO INFERIOR.
7. Al concluir la limpieza se recomienda operar el sistema a la mitad del flujo nominal de trabajo (el tiempo dependerá del flujo nominal), esto con la finalidad de retirar el químico residual presente en el interior de las membranas.
8. Un indicativo de que la limpieza sea a realizado satisfactoriamente es en la disminución de la presión transmembrana (PTM).

#### ***4.5.9 Descripción de Pantallas del Menú Principal***

Al presionar el botón MENÚ en la pantalla principal aparecerá una ventana donde se visualizará la pantalla de menú.

35



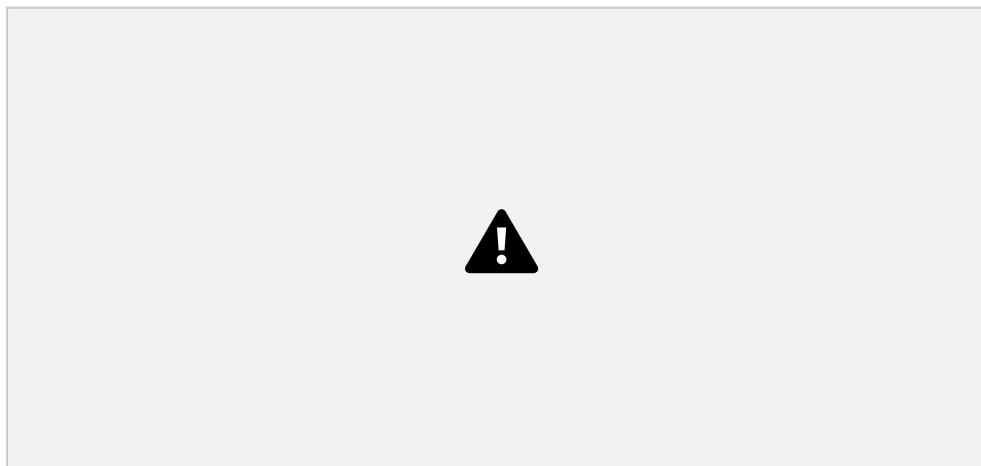
**Figura 18:** Menú Principal. Fuente: Elaboración propia.

La pantalla de menú permite el acceso a:

- Pantalla de usuarios.
- Pantalla de avisos.
- Pantalla de tendencias.
- Pantalla de setpoints.
- Pantalla de Limpieza CIP.
- Pantalla de forzado de válvulas.
- 4Pantalla de horómetros.
- Pantalla de totalizador de flujos.
- Pantalla de escalamientos.
- Pantalla de lista de equipos e instrumentos.

Luego de ingresar la contraseña se tiene acceso a la pantalla de usuarios:

36



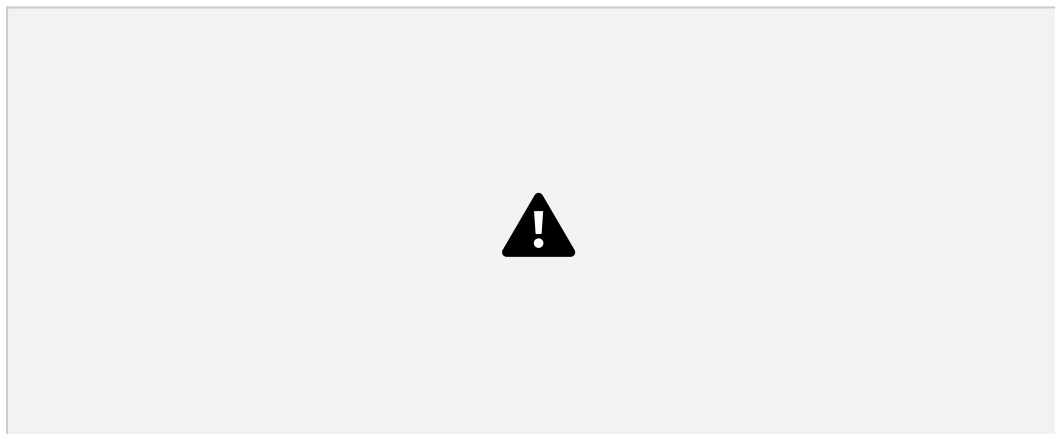
**Figura 19:** Pantalla de Gestión de Usuarios. Fuente: Elaboración propia.

En esta pantalla se puede observar a los demás usuarios, así como también cerrar la sesión iniciada.



#### **4.5.10 Pantalla de Avisos**

Al pulsar el botón de avisos en la pantalla de menú aparece la pantalla de avisos:



**Figura 20:** Pantalla de Avisos. Fuente: Elaboración propia.

37

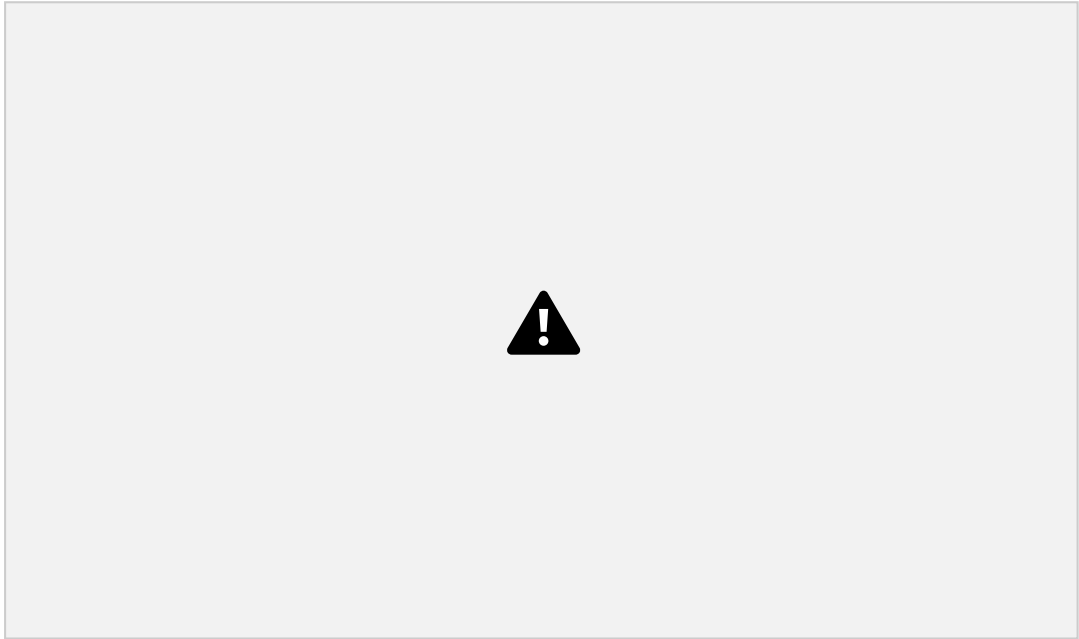
Si se produce algún error o falla en el sistema automáticamente se almacenarán y así se generarán un histórico de avisos, los cuales se pueden borrar siempre y cuando sea acusado.

#### **4.5.11 Pantalla de Tendencias.**

Al pulsar el botón de tendencias en la pantalla de Menú aparecerá la pantalla de tendencias.

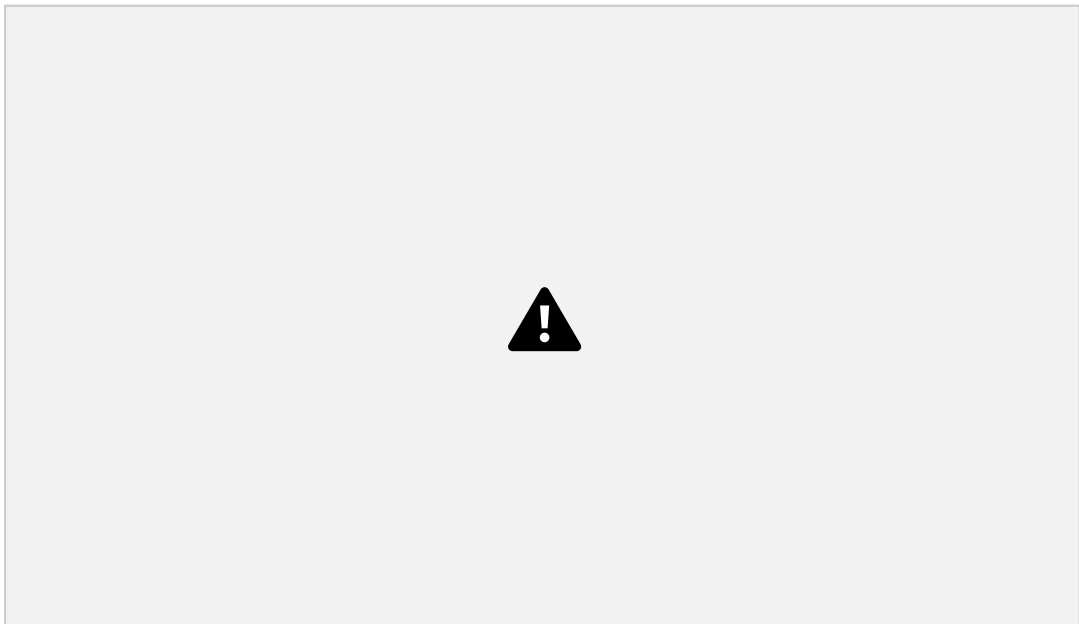
En esta pantalla se podrá apreciar el comportamiento de los sensores con respecto al set point configurado.

Con los botones de direcciones se podrá navegar por todas las pantallas que muestren tendencias.

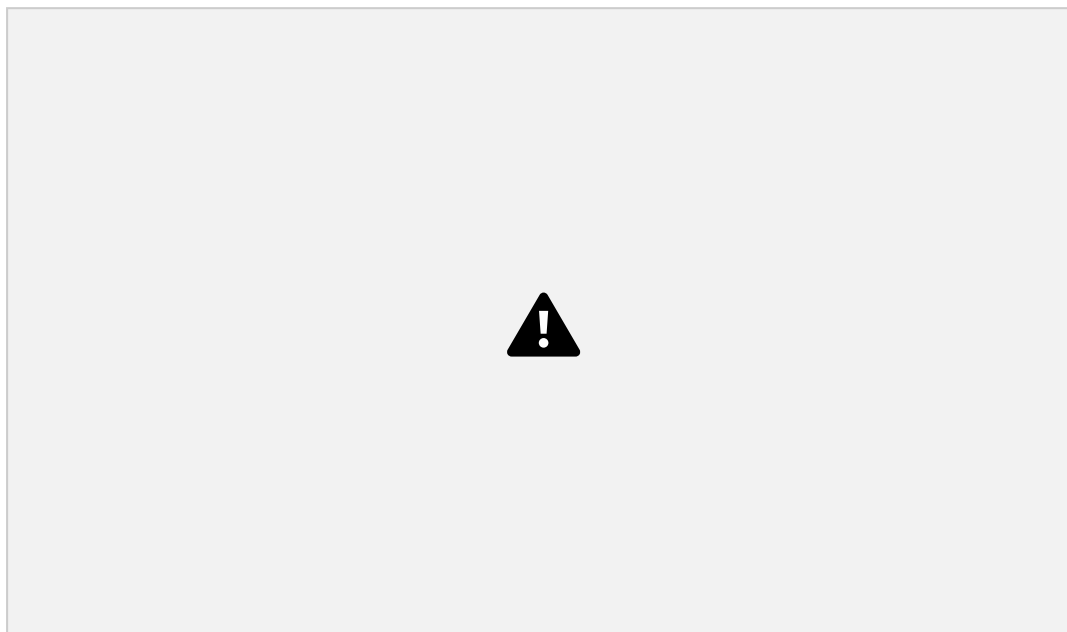


**Figura 21:** Pantalla de tendencia de sopladores BL-101 y BL-102. Fuente: *Elaboración propia.*

38



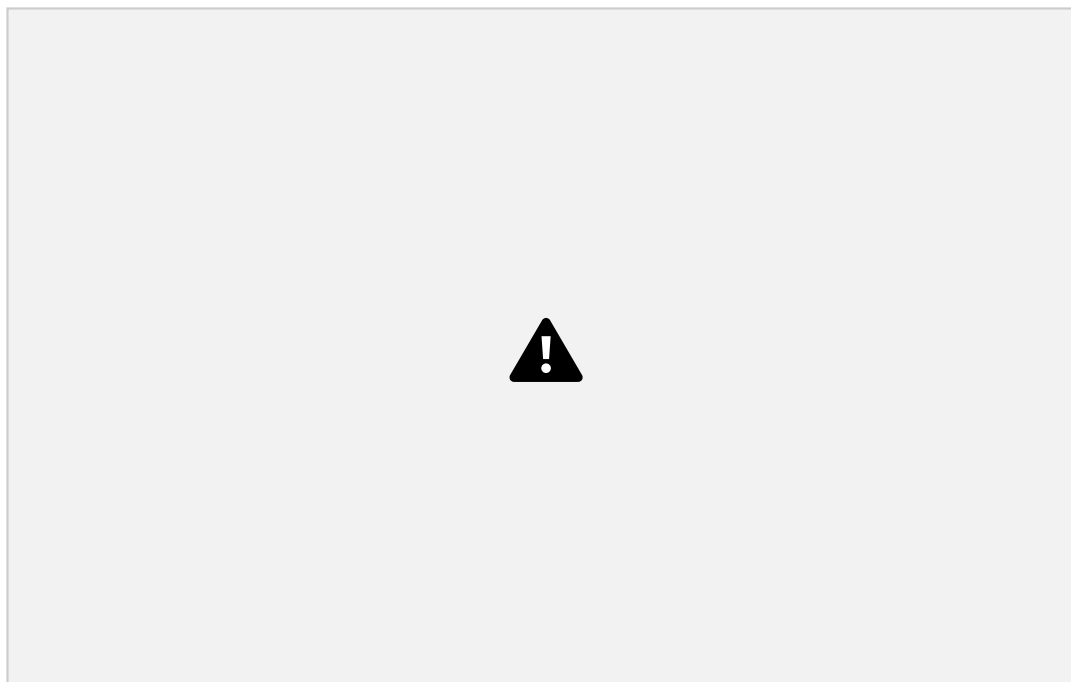
**Figura 22:** Pantalla de tendencia de sopladores BL-103 y BL-104. Fuente: *Elaboración propia.*



**Figura 23:** Pantalla de tendencias de TOC y DQO. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.5.12 Pantalla de Setpoints.**

Al pulsar el botón de setpoints en la pantalla de Menú aparecerá la pantalla de setpoints:



**Figura 24:** Pantalla de tendencias de Set Points. Fuente: Elaboración propia.

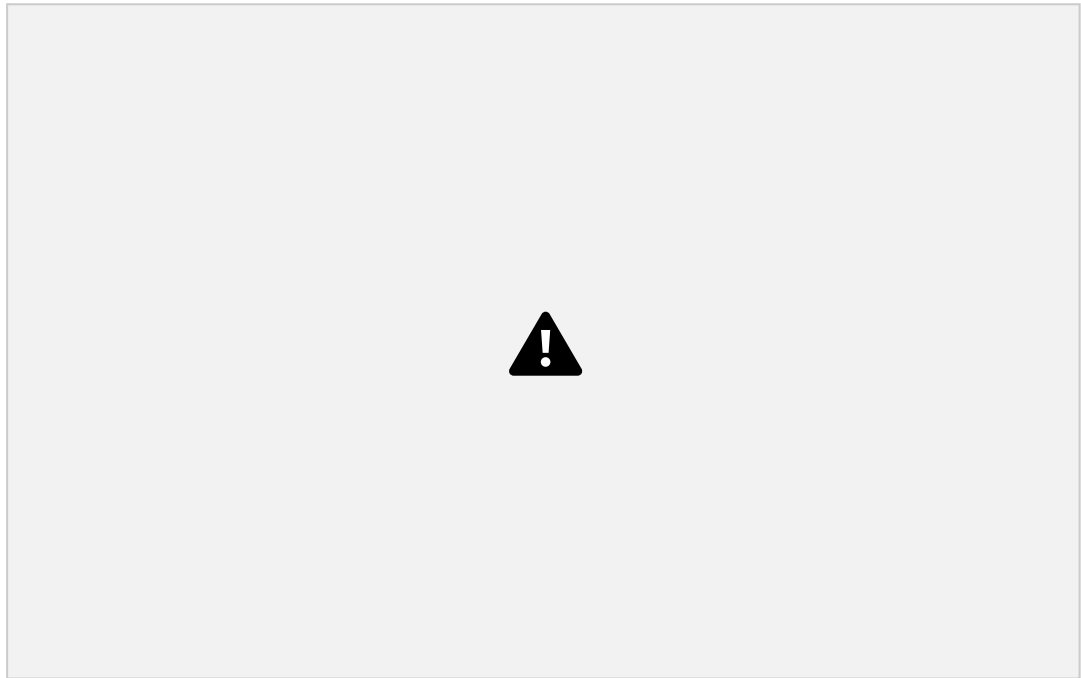
En esta pantalla se puede:

- Editar los valores de Setpoints de las bombas y sopladores. • Configurar la hora y el tiempo que va a trabajar la purga de difusores.
- El set point de parada por bajo flujo del Soplador Scouring de membranas.
- Los setpoints para alarma y parada por presión transmembrana (PTM).

40

#### **4.5.13 Pantalla de Forzado de Válvulas.**

Al pulsar el botón de forzados en la Pantalla Menú aparecerá la pantalla de forzado de válvula.



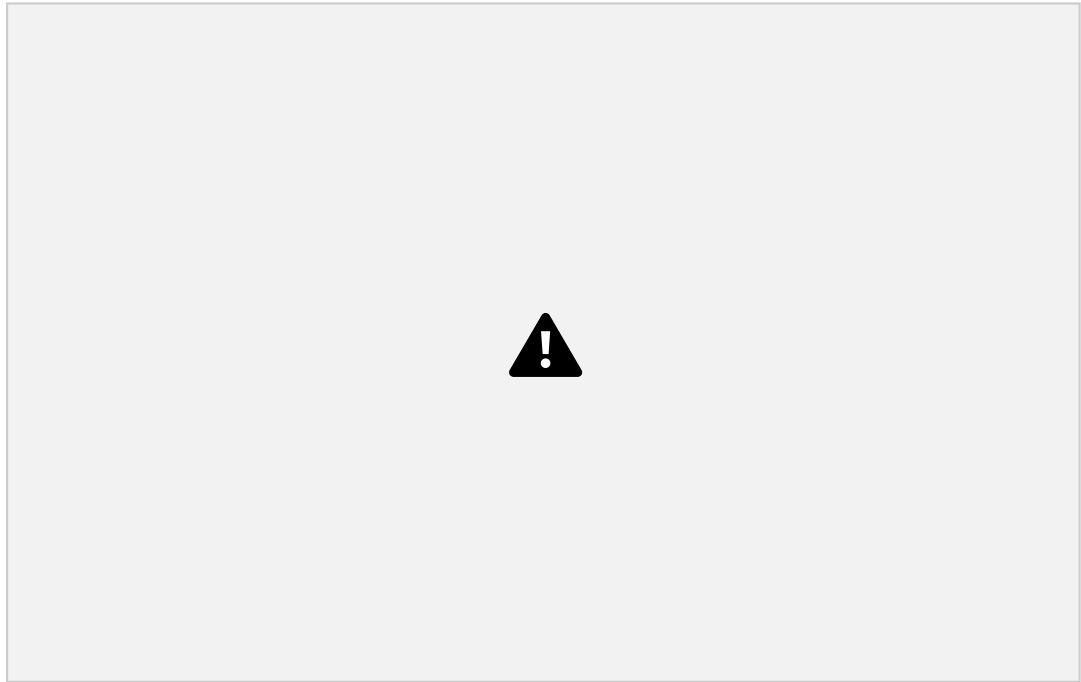
**Figura 25:** Pantalla de forzado de válvulas. Fuente: Elaboración propia.

En esta pantalla se puede abrir y cerrar las válvulas del sistema. Esto sin necesidad de seguir una secuencia.

#### **4.5.14 Pantalla de Horómetros**

Al pulsar el botón de horómetros en la Pantalla del Menú aparecerá la pantalla de horómetros.

Esta pantalla muestra el tiempo de funcionamiento de los equipos del sistema. Los horómetros están enlazados a las confirmaciones de cada uno de los equipos.



**Figura 26:** Pantalla de horómetros. Fuente: Elaboración propia.

## **4.6 Filosofía de Control**

### **4.6.1 Generalidades**

Todas las señales indicadas en los P&IDs provenientes de los instrumentos y equipos serán visualizados en el Panel View.

El sistema se podrá arrancar desde este Panel View a través de sus modos de operación. El Panel View está ubicado en el tablero de control TC-01.

El Panel View permitirá la operación continua del proceso y en casos de mantenimientos preventivos y/o correctivos, además de las pruebas y la puesta en marcha. El acceso a estas pantallas es a través de una clave de usuario.

Como se mencionó anteriormente se entiende como modo de operación MANUAL-REMOTO a la activación de los equipos desde la

encendido, se activan los componentes de forma individual, para ello se tiene que observar la presencia de un nivel considerable de efluente en los tanques que forman parte del proceso.

El sistema permite desde el Panel View, el arranque y pare de las bombas, sopladores, seteo de valores de proceso y tiempos de operación.

El modo AUTOMÁTICO-REMOTO es el modo normal de funcionamiento, es este modo se activan todas las alarmas.

#### **4.6.2 Secuencia de Funcionamiento**

El arranque del sistema se centraliza en el PLC SIMATIC S7-1200 ubicado en el tablero TC-01. A continuación, se describe la secuencia de arranque del sistema en cada una de sus etapas.

**4.6.2.1 Etapa Tamizado.** El efluente industrial es bombeado desde dos cisternas de retención al tanque metálico del ecualizador (TK-101); en la llegada al ecualizador esta pasa por un Tamiz Rotativo (FL-101) cuya función es filtrar el efluente con una luz de paso de 2 mm.

- El arranque del equipo se realiza desde el tablero TC-01. Su funcionamiento está enlazado al switch de flujo ubicado en la línea de flujo de ingreso al tamiz.
- El tamiz (FL-001) dispone de un sistema de limpieza automático mediante inyección de agua de red. Una electroválvula (SV-001) programada mediante temporización cíclica asimétrica (T1 ON-T2 OFF) regula este sistema de limpieza. Su activación también se da cuando se detiene el tamiz, durante un tiempo T3 (configurable en el HMI).

#### **4.6.2.2 Etapa Ecualización**

- El efluente industrial filtrado llega al tanque ecualizador (TK-101).

43

- El efluente filtrado se homogeniza en el interior del tanque ecualizador, mediante la bomba sumergible AG-101, el cual actúa como agitador y aireador, ya que la bomba tiene conectado un eyector por el cual succiona aire del medio ambiente. El encendido de la bomba está enlazado al botón de encendido automático del HMI y el apagado a la activación del nivel bajo del tanque (LSL-006).
- En este tanque se aloja una bomba centrífuga sumergible (PP-101) que impulsará el agua residual homogenizada hacia el Tanque de Oxidación N°1 (TK-102) pasando previamente por el mezclador MX 101.
- El encendido de la bomba PP-101 y su respectiva válvula (XV-010) está enlazado al botón de encendido automático del HMI y el apagado a la activación del nivel bajo del tanque (LSL-006).
- En modo automático y con el fin de tener un caudal constante, el variador de la bomba PP-101 trabaja en un lazo de control con el flujómetro (FT-002), que se encuentra en el mezclador estático. El valor de flujo deseado es configurado desde el HMI.

#### **4.6.2.3 Etapa Neutralización.**

- Esta etapa se realiza en el mezclador estático MX-101. • En esta etapa se acondiciona el valor de pH de efluente industrial tamizado y homogenizado (valores de 10.0 a 10.5) mediante un sistema de control por CO<sub>2</sub>. Con estos valores de pH se puede mantener un pH entre 8.0 y 8.5 en cada uno de los tanques del sistema.
- A lo largo de este serpentín se ubican los siguientes puntos de censado: pH ingreso (AE-008), pH salida (AE-009) y conductividad (CE-001).
- Además, tanto en el ingreso como en la salida del mezclador MX 101,



existe una derivación hacia el equipo biotector (AIT-001), el cual analiza y obtiene los siguientes parámetros: Fósforo total al

44

ingreso y salida del mezclador (AE-004 y AE-012), Nitrógeno total a la entrada y salida del mezclador (AE-003 y AE-011), TOC a la entrada y salida del mezclador (AE-002 y AE-010) y DQO a la entrada y salida del mezclador (AE-001 y AE-009). Estos valores serán llevados como señal analógica al PLC y mostrados en el HMI para monitoreo y control. Los parámetros de ingreso del mezclador servirán para el control de dosificación de Úrea y Ácido Fosfórico (descrito posteriormente) y los parámetros de salida del mezclador serán de sólo lectura.

- En el mezclador MX-101 se ubican los siguientes puntos de inyección de químicos: Ácido Fosfórico (PP-110) y Úrea (PP-109). • El sensor de conductividad eléctrica (CE-001) es de solo lectura, y activa una alarma por alta conductividad de ingreso.
- En modo automático la bomba dosificadora de urea establece un lazo de control dependiente del valor análogo del nitrógeno total (AE-003), DQO (AE-001) y flujo (FT-002) para mantener un valor estable en el efluente industrial. Este lazo de control además depende del porcentaje de remoción de DQO y la concentración del químico a preparar según las fórmulas mostradas en la figura 4.7.
- El tanque de urea cuenta con dos sensores de nivel capacitivos LSL-007 y LSH-008. El sensor LSL-007 protege a la bomba (PP 109) por bajo nivel químico. Dicho tanque de urea (TK-108) cuenta con un agitador (AG-103) que funciona en automático por un tiempo predeterminado desde la activación de la agitación en el HMI (tiempo configurable desde el HMI). Además, dicho tanque de urea (TK-108) cuenta con la electroválvula de llenado de tanque (EV 002) que funciona en automático por un tiempo predeterminado desde la activación de la agitación en el HMI (tiempo configurable desde el

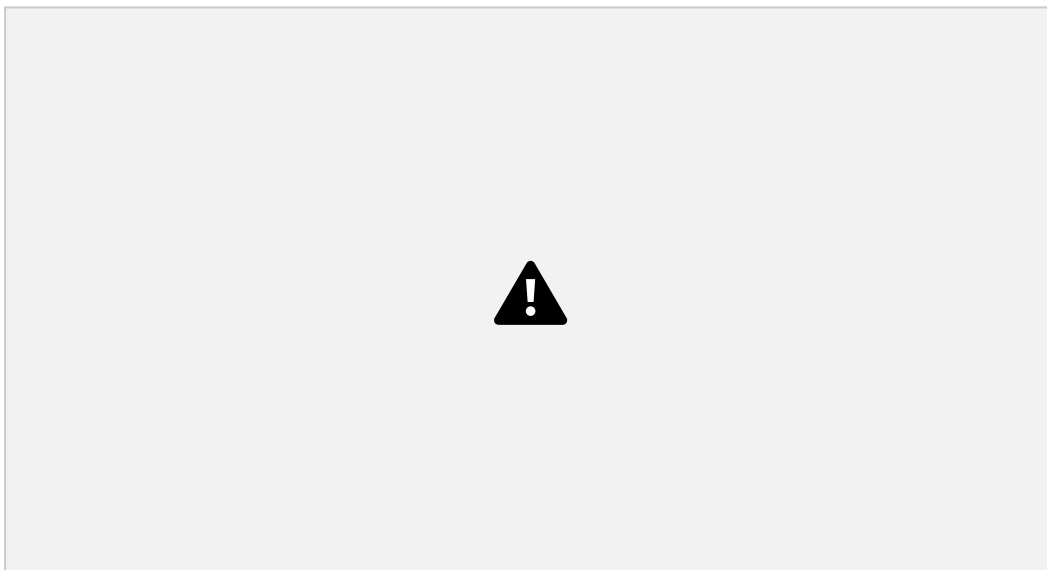
HMI).

- En modo automático la bomba dosificadora de ácido fosfórico (PP 110) establece un lazo dependiente del valor análogo del fosforo

45

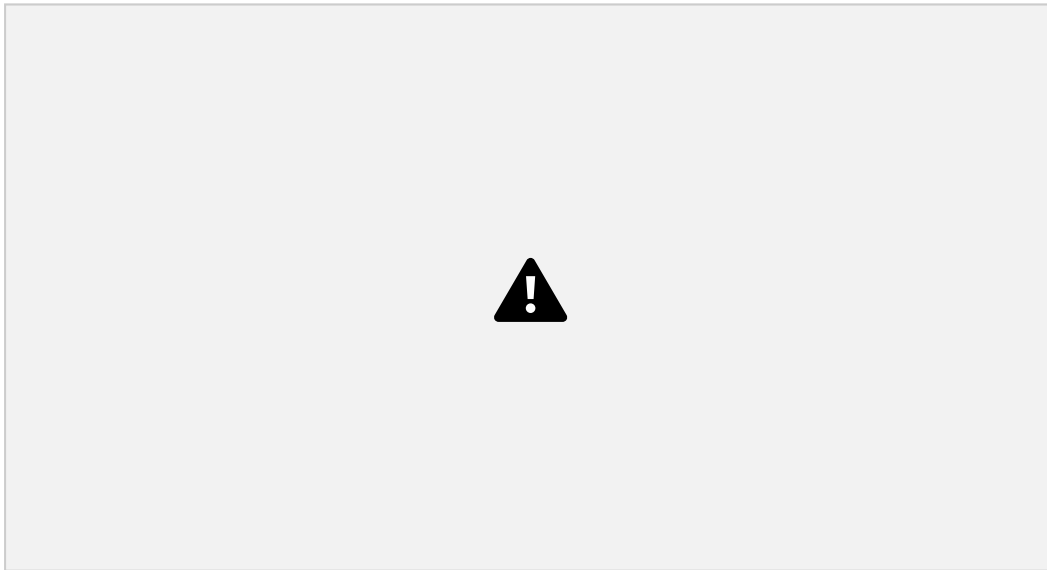
total (AE-004) y DQO (AE-001) y flujo (FT-002), para mantener un valor estable en el efluente industrial. Este lazo de control además depende del porcentaje de remoción de DQO y la concentración del químico a preparar según las fórmulas mostradas en la figura 4.8.

- El sensor LSL-009 protege a la bomba (PP-110) por bajo nivel de químico.
- Los sensores de ph de ingreso AE-008 y ph de salida AE-009 están conectados con el transmisor de un canal AIT-003.



**Figura 27:** Cálculos de dosificación de úrea. Fuente: Elaboración propia.

46



**Figura 28:** Cálculos de dosificación de ácido fosfórico. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6.2.4 Etapa de Oxidación**

- Esta etapa consta de tres tanques de oxidación (TK-102, TK-103 y TK 104). El trasvase entre tanques se realiza por bombeo. El efluente industrial neutralizado llega al tanque de oxidación N°1 (TK-102).
- En el tanque TK-102, la bomba sumergible PP-102 trabaja en función a la activación y desactivación de los controles de nivel alto (LSH-012) y bajo (LSL-011). La regulación de la bomba PP-102 se controla mediante un lazo de control de flujo con el instrumento FT-003, con un set point configurable desde el HMI.
- El tanque cuenta con difusores tubulares dispuestos en el fondo del tanque y que son alimentados por el soplador BL-101.
- El tanque cuenta con un medidor de oxígeno disuelto AIT-003, cuyo sensor relativo a este tanque es AE-005. El soplador BL-101 regula su frecuencia de trabajo mediante lazo de control con el medidor AIT-003 para controlar el nivel de oxígeno en el efluente tratado. El valor del set point del oxígeno disuelto es configurable desde el HMI.

- En modo automático, el variador del soplador trabajará a diferentes frecuencias dependiendo del nivel de oxígeno. El rango de estas frecuencias está determinado por:

**Tabla 19**

*Rango de frecuencias de variador en automático (TK-102)*

| Valor del Oxígeno Disuelto (DO)     | Frecuencia de variador                    | Valor |
|-------------------------------------|---|-------|
| de DO ≥ Setpoint+1                  | Frecuencia mínima                         |       |
| Setpoint < Valor de DO < Setpoint+1 | $(F_{max}-F_{min}) \times 0.33 + F_{min}$ |       |
| Setpoint-1 < Valor de DO < Setpoint | $(F_{max}-F_{min}) \times 0.66 + F_{min}$ | Valor |
| de DO ≤ Setpoint-1                  | F <sub>max</sub>                          |       |

- La protección del soplador se activa cuando, exista un nivel alto de presión (PSH-001) en su descarga, exista un salto térmico y/o el variador presente alguna falla.
- En el tanque TK-103, la bomba sumergible PP-103 trabaja en función a la activación y desactivación de los controles de nivel alto (LSH-014) y bajo (LSL-013). La regulación de velocidad de la bomba PP-103 se controla mediante un lazo de control de flujo con el instrumento FT-004, con un setpoint configurable desde el HMI.
- El tanque cuenta con difusores tubulares dispuestos en el fondo del tanque y que son alimentados por el soplador BL-102.
- El tanque cuenta con un medidor de oxígeno disuelto AIT-004, cuyo sensor relativo a este tanque es AE-006. El soplador BL-102 regula su frecuencia de trabajo mediante lazo de control con el sensor de oxígeno AE-006, para controlar el nivel de oxígeno en el efluente tratado. El valor del setpoint de oxígeno disuelto es configurable desde el HMI. En modo automático, el variador del soplador trabajará a diferentes frecuencias dependiendo del nivel de

oxígeno. El rango de estas frecuencias está predeterminado por los valores máximo y mínimos configurados en el variador.

## Tabla 20

*Rango de frecuencias de variador en automático (TK-103).*

| Valor del Oxígeno Disuelto (DO)                              | Frecuencia de variador   | Valor de DO |
|--|--|-------------|
| $\geq \text{Setpoint}+1$                                     | Frecuencia mínima  |             |
| $\text{Setpoint}-1 < \text{Valor de DO} < \text{Setpoint}+1$ | $(F_{\text{max}}-F_{\text{min}}) \times 0.33 + F_{\text{min}}$ |             |
| $\text{Setpoint}-1 < \text{Valor de DO} < \text{Setpoint}$   | $(F_{\text{max}}-F_{\text{min}}) \times 0.66 + F_{\text{min}}$ | Valor de DO |
| $\leq \text{Setpoint}-1$                                     | $F_{\text{max}}$   |             |

- La protección del soplador se activa cuando, exista un nivel alto de presión (PSH-001) en su descarga, exista un salto térmico y/o el variador presente alguna falla.
- En el tanque TK-104, la bomba sumergible PP-104 trabaja en función a la activación y desactivación de los controles de nivel alto (LSH-016) y bajo (LSL-015). La regulación de velocidad de la bomba PP-104 se controla mediante un lazo de control de flujo con el instrumento FT-005, con un setpoint configurable desde el HMI.
- El tanque cuenta con difusores tubulares dispuestos en el fondo del tanque y que son alimentados por el soplador BL-103.
- El tanque cuenta con un medidor de oxígeno disuelto AIT-004, cuyo sensor relativo a este tanque es AE-007. El soplador BL-103 regula su frecuencia de trabajo mediante lazo de control con el sensor de oxígeno disuelto AIT-003, para controlar el nivel de oxígeno en el efluente tratado. El valor del setpoint de oxígeno disuelto es 2ppm (configurable desde el HMI). En modo automático, el variador del soplador trabajará a diferentes frecuencias está predeterminado por los valores máximo y mínimos configurados en el variador.

## Tabla 21

*Rango de frecuencias de variador en automático (TK-104).*

Valor del Oxígeno Disuelto (DO) Frecuencia de variador Valor  
de DO  $\geq$  Setpoint+1 Frecuencia mínima  
Setpoint < Valor de DO < Setpoint+1  $(F_{max}-F_{min}) \times 0.33 + F_{min}$   
Setpoint-1 < Valor de DO < Setpoint  $(F_{max}-F_{min}) \times 0.66 + F_{min}$  Valor  
de DO  $\leq$  Setpoint-1  $F_{max}$

- La protección del soplador se activa cuando, exista un nivel alto de presión (PSH-001) en su descarga, exista un salto térmico y/o el variador presente alguna falla.
- Arrancar bombas sumergibles PP-102/103/104: En modo automático, las bombas arrancarán de acuerdo al lazo de control PID establecido con el sensor de flujo respectivo, el valor de flujo es seteable desde el HMI.
- Parada de bombas sumergibles PP-102/103/104: La parada de las bombas se producirá por activación de la señal de nivel bajo de los tanques (LSL-011/013/015). También se producirá el paro si se corta el ingreso de agua desde el tanque ecualizador (TK-103), o por salto térmico de unas de las bombas de trasvase.
- Arranque de sopladores BL-101/102/103: Los sopladores BL-101, BL-102 y BL-103 trabajan de acuerdo al lazo de control establecido con el medidor de oxígeno disuelto respectivo.
- Parada de sopladores BL-101/102/103: La parada de los sopladores ocurrirá luego de 5 minutos (tiempo programable) de activarse el nivel muy bajo (LSL-011/013/015). También se activa el paro por los enclavamientos de seguridad de muy alta presión (PAH-001/002/003) o por salto térmico o falla de alguno de los variadores que controlan los sopladores.

**4.6.2.5 Etapa de Reactor MBR.** Esta 4etapa consta de los siguientes componentes:

- 01 tanque Reactor MBR.
- 06 módulos de membranas, correctamente espaciados y dispuestos de tal forma que el ingreso de flujo sea homogéneo, y una séptima posición de reserva a futuro.
- 01 soplador de aire BL-104, para los elementos de aireación de las membranas BL-104.
- 01 soplador de aire BL-105, para los difusores tubulares de burbuja fina BL-105.

El efluente llega al tanque TK-105 procedente del TK-104, llenando el tanque hasta sumergir completamente las membranas MBR.

El soplador BL-105 inyecta aire a través de los difusores tubulares de burbuja fina, con el fin de buscar la óptima transferencia de oxígeno para la correcta reacción biológica (mayor crecimiento de bacterias para su alimentación de la carga orgánica).

La aplicación del uso de membranas de placa plana es la filtración de lodos activos. La succión del permeado a través de las membranas se realiza a través de las bombas lobulares.

Los módulos de membranas constan de dos bloques.

Bloque de elementos: Consta de 200 elementos de membranas con un área de 1.42 mm<sup>2</sup>/elemento, dispuestos en un bastidor que tiene una tubería<sup>4</sup> de acero inoxidable colectora de permeado.

Bloques de aireación: Consta de un bastidor que tiene un difusor de aire en forma de U con agujeros de 6 mm de diámetro en toda su longitud que garantiza una difusión homogénea de las burbujas de limpiezas gruesas.

Ambos bloques se unen mediante guías de apilamiento y orificios de conexión.

Los módulos de membranas tienen un ciclo de filtración que es la succión del agua desde el exterior a través de la membrana y un ciclo de relajación que es la limpieza de aire sin filtración. Durante la filtración hay un flujo neto de lodo hacia la membrana que es desconcentrado por la corriente de aire y durante la relajación hay un flujo neto fuera de la membrana debido a la corriente de aire.

El ciclo de trabajo es de 10 minutos, 9 min de filtración y 1 min de relajación. La inyección de aire a través del soplador tiene como función la limpieza continua de las paredes de las membranas y la limpieza de los difusores una vez al día.

Las membranas trabajan sumergidas dentro del tanque. La altura del módulo MBR es de 4,30 m, por lo tanto, se requiere que esté cubierto 0,5 m por encima de la parte superior para garantizar su correcto trabajo. Es decir, el valor para el nivel bajo dentro de los tanques MBR es de 5m.

El soplador BL-105 se encargará de inyectar aire a los bloques de aireación de los módulos de membrana MBR, y en su descarga se instalará un sensor de flujo tipo Vortex (FT-006), el cual será utilizado como un elemento de alarma, para indicarnos que está pasando un mínimo de flujo de aire requerido para que las membranas puedan operar sin ningún problema.

En el ciclo de filtración las bombas lobulares PP-005/006 succionan a través de las membranas.

Arranque de soplador BL-104: El soplador trabaja estableciendo un lazo de control con el transmisor de oxígeno disuelto (AIT-005) de tal forma que los motores de los sopladores fijen sus velocidades (Hz) en función a la demanda de oxígeno debido a un valor prefijado o setpoint.

Parada de soplador BL-104: La parada de los sopladores se da por



emergencia desde la estación de control local (PB); en las 2 últimas condiciones se activa la alarma audiovisual.

Arranque de soplador BL-105: El soplador trabaja en automático de manera continua mientras se realiza el proceso de filtración a través del ciclo de trabajo de las membranas. El arranque de las bombas de permeado PP-105 y 106 están enclavados al funcionamiento del soplador BL-105.

Parada de soplador BL-105: Se detiene en automático cuando se activa la alarma por bajo flujo de aire (FAL-006) dado por el flujómetro FT 006 o por falla de arranque eléctrico del soplador (FALLA BL-105). También se procede con la parada por enclavamiento de presión muy alta (PAH-005) y parada de emergencia desde la estación local (PB).

A continuación, se detalla el ciclo de trabajo MBR:

Filtración (t=9min)

- Soplador BL-105 encendido.
- Se abre la válvula XV-003 y XV-004.
- Previa confirmación de la apertura de las válvulas XV-003 y XV-004, se enciende la PP-005 y PP-006, estas bombas pueden trabajar con un lazo de control de flujo constante con el sensor FT-007 y FT-008 respectivamente, o por regulación manual de flujos ajustando la frecuencia de su variador.

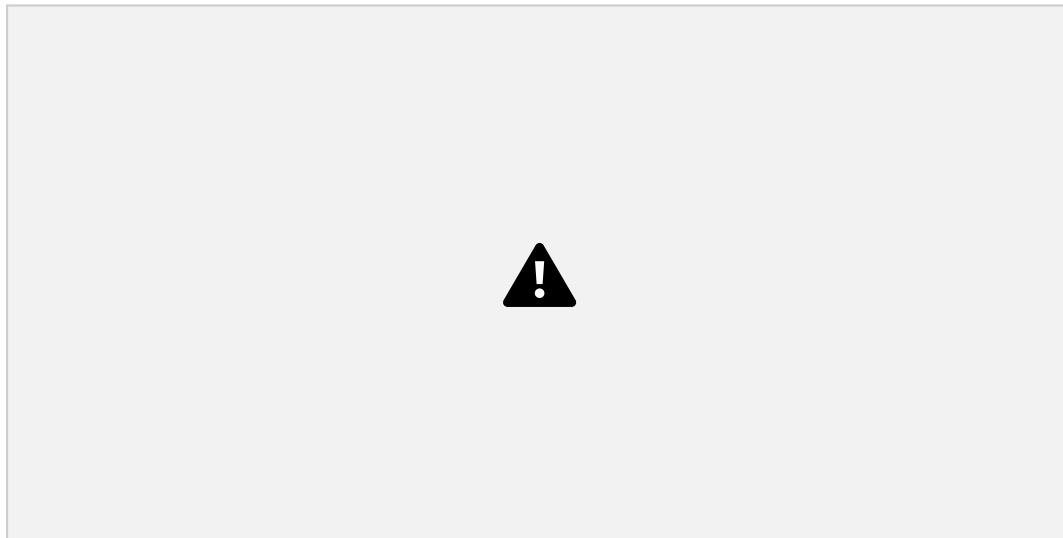
Relajación (t=1min)

- Soplador BL-105 encendido.
- Apagado de las bombas PP-005 o PP-006.
- Cierre de las válvulas XV-003/004.

El ciclo de trabajo MBR se detiene si:

- Si la presión transmembrana  $PTM \geq 200$  mbar.

- Si el nivel en el tanque TK-105 alcanza el nivel bajo (lectura del transmisor de nivel PT-001), este valor de nivel es seteable desde el HMI, pero no puede ser menor a 5m.



**Figura 29:** Ciclo de trabajo MBR. Fuente: Elaboración propia.

**4.6.2.6 Purga de Difusores MBR.** El objeto de la purga es evitar que se formen obstrucciones en el interior de las tuberías de aireación que puedan afectar el reparto de aire y disminuir el efecto de limpieza física generando ensuciamiento rápido de las membranas.

Esta purga se realiza una vez al día, al final de un ciclo de trabajo y por un tiempo modificable (mínimo 5 min).

La purga de difusores sigue la siguiente secuencia:

- Detener la filtración.
- Abrir la válvula XV-007, en esta etapa el licor de lodos penetra a través de los orificios del difusor en la tubería de este y se descarga junto con el aire.
- Mantener abierta la válvula XV-007 por un tiempo configurable desde

- Cerrar la válvula XV-007.
- Reiniciar el ciclo de trabajo.

**4.6.2.7 Estación CIP Sistema MBR.** El sistema MBR cuenta con una estación de limpieza para el lavado químico de las membranas por cada piso, conformada por:

- Bomba centrífuga PP-107.
- Tanque CIP TK-112.
- Controles de nivel LSL-017.
- Válvulas XV-005, XV-006, XV-007 y XV-008.

La limpieza química aplica cuando el valor de la PTM ha alcanzado el límite de 200 mbar. Cuando el valor de la PTM alcanza por ejemplo un valor de 150 mbar (configurable), el HMI deberá mostrar una alarma para que el operador tenga tiempo de programar una limpieza.

La preparación del químico diluido se realiza en el TK-112, luego se realiza una recirculación para homogenizar la solución y luego es bombeado a través de la PP-107 al respectivo colector.

La bomba PP-107 por condiciones de proceso enciende en función de nivel alto LSH-018 y apaga en función de nivel bajo LSL-017 según sea el caso.

La bomba por enclavamiento de proceso apaga por bajo nivel de químico LSL-017 y por parada de emergencia desde la estación de control local (PB); en las últimas 2 condiciones se activa la alarma audiovisual.

Antes de una limpieza química se detiene el proceso de filtración del MBR, la aireación de membrana del tren completo (BL-104 y 105) y la recirculación del tren (PP-104).

Limpieza CIP piso inferior:

- Confirmación de cierre de válvula XV-003.
- Apertura de XV-005 y XV-008.

55

- 4Encendido de PP-107.

Limpieza CIP piso superior:

- Confirmación de cierre de válvula XV-004.
- Apertura de XV-006 y XV-009.
- Encendido de PP-107.
  - En ambos casos se tiene que garantizar la apertura de válvulas manuales en la línea de ingreso a cada módulo de membranas. • Se mostrará en pantalla del HMI, un temporizador (TCIP) que llevará el control del tiempo de reacción de la solución de limpieza, y que es activada por el operador una vez terminado de verter la solución en el piso superior.

#### **4.6.2.8 Etapa de Desinfección**

- El efluente permeado va hacia el tanque de almacenamiento TK 106.
- La cloración se realiza con la inyección de Hipoclorito de Sodio. El Hipoclorito de Sodio es inyectado por medio de la bomba dosificadora PP-113. La inyección de cloro en línea está enclavada al funcionamiento de estas bombas (PP-105 y PP-106).
- La regulación del caudal de inyección de los químicos se realiza por medio del control manual que se encuentra en el panel de la bomba. • El Hipoclorito de Sodio es almacenado en el tanque TK-114. • El arranque de la bomba dosificadora PP-113 es manual y automático, en modo automático está en función del encendido de PP105/106.
- La parada de la bomba PP-113 se realiza por 3 condiciones. Parada por condiciones normales de proceso, parada por enclavamiento de seguridad de bajo nivel (LSL-021) y parada por enclavamiento de las bombas PP-105/106.

56

## 4.7 Conclusiones

- Se instaló con éxito la instrumentación analítica adecuada que exigía el proceso, gracias a ello todas las señales de Ph, Conductividad, Oxígeno Disuelto, DQO, DBO, Fosforo Total y Nitrógeno Total.
- Se integraron las señales de los instrumentos a los PLC's S7-1200 mediante señales de miliamperios (4 a 20 mA). Se eligió esta alternativa por motivo de ahorrar significativamente en la implementación de la instrumentación, sin embargo, cabe mencionar que el uso de otro protocolo como PROFIBUS o FOUNDATION FIELDBUS ofrecen mayor confiabilidad en el envío de señales y alarmas de los instrumentos.
- Se decidió realizar la implementación de la filosofía de control con PLC's S7-1200 y un HMI Panel View TP 1200 Comfort 6AV2124-0MC01-0AX0.
- Se implementó con éxito el diseño de la pantalla HMI en el entorno Simatic Wincc Professional, para ello se realizaron sub pantallas para cada etapa del proceso de la Planta: Tamizado y Ecuilización, Neutralización, Oxigenación y Reactor MBR; dentro de cada una de ellas se puede habilitar o deshabilitar el modo automático, encender o apagar bombas o motores y cambiar setpoints de proceso.
- Se diseñaron también, como pantallas auxiliares: la Pantalla de Avisos, Pantalla de Tendencias, Pantalla de Setpoints, Pantalla de Forzado de Válvulas, Pantalla de Horómetros, Pantalla de Lista de Equipos e Instrumentos.

## **CAPÍTULO V**

### **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda implementar una gestión adecuada para el mantenimiento de los instrumentos de medición montados en la Planta. Medidas como: Plan de mantenimiento preventivo, calibraciones periódicas, gestión de repuestos, etc.; son necesarias para asegurar el funcionamiento continuo de la planta.<sup>4</sup>
2. Se recomienda realizar mantenimientos preventivos a los pozos a tierra que están conectados a los instrumentos, esto debido a que una resistividad alta (mayor a  $3\Omega$ ) puede inducir ruido eléctrico a la salida de miliamperios de un control inadecuado.
3. Se recomienda mantener comunicado los PLC's y el HMI con el protocolo Ethernet TCP/IP, ya que brinda una mayor velocidad de transmisión con respecto a otros protocolos y además ofrece un mayor ancho de banda, lo cual permite enviar más datos de manera simultánea entre estos dispositivos.
4. Se recomienda implementar una red HART o PROFIBUS PA para servicio y mantenimiento de los instrumentos ya que estos protocolos permiten el envío de alarmas a un controlador o una PC para que el usuario pueda predecir fallas futuras en los instrumentos, lo cual garantizaría el funcionamiento continuo de la planta.
5. Se recomienda implementar un sistema SCADA con el Software Wincc Run Time que permita seguir visualizando lecturas y ejerciendo control en caso el HMI del tablero sufra algún desperfecto.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFIA

- [1] García Román, M. (s/f). *Tratamientos Específicos de Vertidos Industriales – Parte I*. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.  
<https://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TARI/teari-1.pdf>
- [2] OZ Perú (10, octubre, 2016). *Planta de tratamiento de aguas residuales con sistema mbr*. [OZPERU]. <http://www.oz-peru.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-mbr/>.
- [3] Norma OS.090. (s/f). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.  
[https://saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)
- [4] Siemens (2012). *Manual del sistema. Controlador programable S7-1200*.  
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>.