



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE NIVEL DE ANOLITOS
PARA LA PLANTA DE PINTURA CIAUTO CIA. LTDA.”**

Trabajo de Integración Curricular:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: TOAPANTA BAUTISTA CATERINE ALEXANDRA

TUTOR: Ing. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Caterine Alexandra Toapanta Bautista

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Caterine Alexandra Toapanta Bautista declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el Patrimonio Intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de diciembre de 2023



Caterine Alexandra Toapanta Bautista

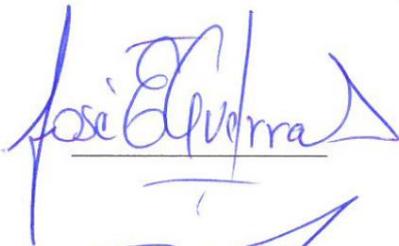
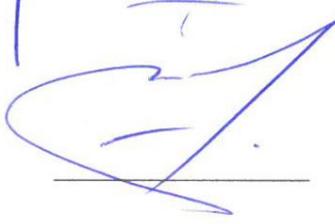
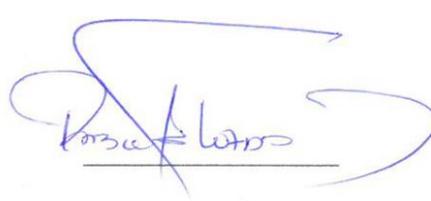
180505583-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE NIVEL DE ANOLITOS PARA LA PLANTA DE PINTURA CIAUTO CIA. LTDA.**, realizado por la señorita: **CATERINE ALEXANDRA TOAPANTA BAUTISTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Guerra PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-15
Ing. Marco Antonio Viteri Barrera DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-15
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-15

DEDICATORIA

Durante este largo periodo de estudios en los cuales he presenciado dificultades y amenos momentos, el esfuerzo por alcanzar la meta nunca se ha desvanecido.

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la vida y por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente, haciéndome ver que cada dificultad que se presentaba era un propósito suyo y dándome fuerzas para poder seguir adelante. A mis padres Marcelo y Elsa por siempre mostrarme el amor de Dios dándome cada día su amor sin condición, sacrificio, confianza y todo el apoyo durante este camino, gracias a ustedes he podido llegar hasta aquí. A mis hermanos Lennin y Joss por darme aliento y ese abrazo oportuno cuando sabían que lo necesitaba.

A todos mis amigos, pero de manera muy especial a Anita quien ha estado junto a mí en momentos difíciles no solo de la carrera, gracias a quien puedo decir con seguridad que en todo tiempo ama el amigo, gracias por todo.

Cathy

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas a quienes agradecer, sin embargo, agradezco a mis padres por su esfuerzo y dedicación para ayudarme a culminar mi carrera universitaria y a mis hermanos. A todos mis queridos amigos quienes me apoyaron durante mi vida universitaria de una u otra manera en los buenos y malos momentos.

Cathy

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
TABLA DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Justificación	3
1.4	Objetivos.....	3
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.5	Metodología.....	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Proceso de electrorrecubrimiento	5
2.2	Subproceso de e-coat	5
2.2.1	<i>Sistema de anolito</i>	8
2.2.2	<i>Sistema de agua blanda</i>	9
2.3	Redes de comunicación industrial	10
2.4	Protección IP.....	11
2.5	Tableros de control eléctrico	12
2.6	Automatización.....	14
2.6.1	<i>Parte de control</i>	14
2.7	Controlador lógico programable.....	16
2.7.1	<i>Estructura general de los PLCs</i>	16
2.7.2	<i>Tipos de PLC's</i>	18
2.7.3	<i>GRAFSET</i>	20
2.8	Interfaz Hombre Maquina.....	20

2.8.1	<i>Funciones de la HMI</i>	20
2.8.2	<i>Principios de diseño general</i>	21
2.8.3	<i>Normativa para el diseño de la HMI</i>	22
2.8.4	<i>Tipos de HMI</i>	23
2.9	Válvulas de control.....	24
2.9.1	<i>Válvulas solenoides</i>	24
2.10	Conductividad eléctrica.....	25
2.11	Sensor de conductividad.....	26
2.12	Controlador de conductividad.....	26
2.13	Conductores eléctricos.....	27
2.14	Guardamotores.....	28
2.14.1	<i>Características de los guardamotores</i>	29
2.15	Contactador.....	30
2.15.1	<i>Aplicaciones de los Contactores</i>	30
2.16	Presostato.....	31
2.17	Sensores de nivel de agua.....	32
2.17.1	<i>Tipos de sensores de nivel</i>	32
2.18	Bomba de agua con accionamiento de motor eléctrico.....	35
2.19	Lámparas Ultravioleta.....	37

CAPITULO III

3.1	Requerimientos del sistema a automatizar.....	39
3.2	Concepción del sistema.....	39
3.3	Arquitectura de <i>hardware</i> del sistema.....	40
3.3.1	<i>Sistema de agua DI y anolito</i>	40
3.3.2	<i>Sistema de agua blanda</i>	41
3.4	Selección de equipos y dispositivos <i>hardware</i> del sistema.....	42
3.4.1	<i>Controlador lógico programable WECON lv3x</i>	42
3.4.2	<i>Pantalla HMI</i>	43
3.4.3	<i>Componentes auxiliares</i>	44
3.5	Representación esquemática de conexiones.....	46
3.6	Diseño por tramos del sistema de control automatizado.....	46
3.7	Diagramas de flujo de los sistemas.....	47
3.7.1	<i>Sistema de agua blanda</i>	47
3.7.2	<i>Sistema de agua desmineralizada</i>	49
3.7.3	<i>Diagrama de conexión</i>	51
3.7.4	<i>Diagrama de conexión eléctrica del PLC y HMI</i>	51

3.8	Herramientas de <i>software</i> del sistema	53
3.9	Diseño de pantallas del HMI	53

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	57
4.1	Ensayo en el sistema.....	57
4.1.1	<i>Ensayo del funcionamiento del sistema de control de conductividad del ac.....</i>	58
4.1.2	<i>Pruebas de nivel de conductividad.....</i>	60
4.1.3	<i>Análisis de muestras del sistema manual y automatizado.....</i>	66
4.1.4	<i>Beneficios del sistema automatizado.....</i>	68
4.2	Análisis de costos	69
4.2.1	<i>Perdidas por cortes de energía y paralización de la producción.....</i>	70
4.2.2	<i>Perdidas por Error humano</i>	70
4.2.3	<i>Análisis de Perdidas</i>	71
4.2.4	<i>Análisis de recuperación de la inversión.....</i>	71
4.2.5	<i>Análisis Costo /Beneficio.....</i>	72

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Norma IEC 60529 – Protección IP	12
Tabla 2-2: Comparación entre el control por lógica cableada y programada	15
Tabla 3-2: Características de PLC's comerciales	19
Tabla 4-2: Colores de estado del HMI	22
Tabla 5-2: Comparación de las principales características de HMI	24
Tabla 6-2: Calibre de conductores	28
Tabla 7-2: Características de los guardamotors	29
Tabla 8-2: Factor de potencia según la categoría	30
Tabla 9-2: Aplicaciones de contactores	31
Tabla 10-2: Características básicas de un presostato mecánico	32
Tabla 11-2: Características básicas de un presostato mecánico	35
Tabla 12-2: Accionamiento de bombas según la potencia	36
Tabla 13-2: Características de una lampara UV Viqua BA-ICE-CM	38
Tabla 1-3: Especificaciones WECON PLC LX3V 0806MR	42
Tabla 2-3: Especificaciones WECON HMI LEVI2070D	43
Tabla 3-3: Especificaciones Pulsador paro de emergencia	44
Tabla 4-3: Especificaciones indicador sonoro-luminoso	45
Tabla 5-3: Especificaciones Pulsador paro de emergencia	46
Tabla 1-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 1	61
Tabla 2-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 2	63
Tabla 3-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 3	64
Tabla 4-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 4	66
Tabla 5-4: Muestras tomadas manualmente en horario laboral por el operador	67
Tabla 6-4: Muestras tomadas automáticamente por el prototipo	68
Tabla 7-4: Tabla de costos	69
Tabla 8-4: Análisis de perdidas	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Diagrama de bloques del proceso de electrorrecubrimiento	5
Ilustración 2-2: Esquema de pintado por electrodeposición catódica en la cuba e-coat	6
Ilustración 3-2: Cuba de e-coat	7
Ilustración 4-2: Carrocería previo al proceso de electrodeposición	7
Ilustración 5-2: Carrocería posterior al proceso de electrodeposición	8
Ilustración 6-2: Diagrama PID del proceso de e-coat implementada en Ciauto	8
Ilustración 7-2: Diagrama PID del sistema de anolito.....	9
Ilustración 8-2: Diagrama PID del sistema de agua blanda actual	10
Ilustración 9-2: Tablero de control “CUBA E-COAT” actual	13
Ilustración 10-2: Tablero de control “BOMBA AGUA DI”	13
Ilustración 11-2: Clasificación tecnológica.....	14
Ilustración 12-2: Diagrama generalizado de un PLC	17
Ilustración 13-2: Un sistema de control con válvula solenoide.....	25
Ilustración 14-2: Dilución sobre la conductividad equivalente.....	26
Ilustración 15-2: Sensores de conductividad.....	26
Ilustración 16-2: Presostato mecánico.....	32
Ilustración 17-2: Sonda de nivel sumergible.....	33
Ilustración 18-2: Interruptor de flotador sumergible	33
Ilustración 19-2: Sonda de nivel ultrasónico sin contacto.....	34
Ilustración 20-2: Sonda de nivel por capacitancia.....	34
Ilustración 21-2: Bomba centrifuga.....	36
Ilustración 22-2: Lámpara de luz ultravioleta	37
Ilustración 1-3: Diseño general del proceso del sistema	40
Ilustración 2-3: Diseño general del sistema de agua DI rediseñado.....	41
Ilustración 3-3: Diseño general del sistema de agua blanda rediseñado	41
Ilustración 4-3: PLC WECON LX3V	42
Ilustración 5-3: Pantalla HMI.....	43
Ilustración 6-3: Portafusibles 32A.....	44
Ilustración 7-3: Indicador sonoro	45
Ilustración 8-3: Botón de paro de emergencia.....	45
Ilustración 9-3: Diseño del sistema de agua DI.....	47
Ilustración 10-3: Diseño del sistema de agua blanda	47
Ilustración 11-3: Diagrama de flujo para el.....	48
Ilustración 12-3: Graficet del sistema de agua blanda modo automático.....	49
Ilustración 13-3: Sistema de agua DI modo automático	50

Ilustración 14-3: Graficet del sistema de agua DI modo automático y manual.....	51
Ilustración 15-3: Diagrama de la red del PLC y HMI.....	51
Ilustración 16-3: Diagrama eléctrico del prototipo	52
Ilustración 1-4: Vista externa del tablero de control	57
Ilustración 2-4: Vista interna del tablero de control.....	58
Ilustración 3-4: Valores mínimos y máximos	58
Ilustración 4-4: HMI - sistema apagado	59
Ilustración 5-4: HMI - sistema encendido.....	59
Ilustración 6-4: HMI con una conductividad = 855 uS/cm	60
Ilustración 7-4: Tendencia de la conductividad = 855 uS/cm	61
Ilustración 8-4: HMI con una conductividad = 2198 uS/cm	62
Ilustración 9-4: Tendencia de la conductividad = 2198 uS/cm	62
Ilustración 10-4: HMI con conductividad = 4275 uS/cm.....	64
Ilustración 11-4: HMI con conductividad = 8000 uS/cm.....	65
Ilustración 12-4: Tendencia de la conductividad = 8000 uS/cm	65
Ilustración 13-4: Hoja de control de conductividad Ciauto.....	66
Ilustración 14-4: Tendencia de la conductividad.....	67
Ilustración 15-4: Comparación costos de prototipo y perdidas	72

TABLA DE ANEXOS

ANEXO A: Programación Ladder

ANEXO B: Hoja técnica de la sonda de nivel

ANEXO C: Lista de materiales propuesta para la implementación

ANEXO D: Proforma con una parte de los materiales cotizados

ANEXO E: Carta de aceptación de Ciauto Cía. Ltda.

ANEXO F: Pantalla HMI instalada en el tablero de control

ANEXO G: Dispositivos instalados en la parte interna del tablero de control

RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación es la propuesta de implementación de un prototipo automatizado para controlar el nivel de anolitos en la planta de pintura Ciauto. El prototipo consta de un tablero y una Interfaz Humano-Maquina (HMI) para el control de dos sistemas: agua desmineralizada (DI) y agua blanda. El primer sistema de agua DI permite el control de nivel de anolitos basado en la variable conductividad. Para la activación y puesta en marcha del sistema DI se considera dos modos: automático y manual. Consta de seis etapas: la primera, entrega voltaje necesario para alimentar los dispositivos de control y protección. La etapa de adquisición de señales, conformada por sensores de nivel y conductividad, permiten el encendido/apagado de la bomba y el cierre/apertura de las electroválvulas. Dichas señales son enviadas a la etapa de procesamiento cuyo principal elemento es un PLC-LX3V, encargado del envío y activación de señales de salida, en base al graficet de control etapa-transición del proceso, consecutivamente activa la bomba que conforma la etapa de potencia, tal que se genere la circulación del agua. El control y visualización de los estados del sistema se realiza mediante un panel HMI-LEVI2070D, la etapa final permite la comunicación RS-485 entre la etapa de procesamiento y la HMI. El sistema de agua blanda, posee etapas similares a las del sistema DI. Como resultado, se determinó que la comunicación conservó un tiempo de respuesta de 1ms sin pérdida de datos y con respuestas coherentes a los mandos ejecutados desde la interfaz. Por ello, se concluye que la HMI posee un ambiente de diseño amigable con el operador para un eficiente control de nivel de conductividad en el tanque de anolito. Se recomienda implementar un sistema SCADA para un mejor control del proceso.

Palabras clave: <AUTOMATIZACION>, <CONTROL DE NIVEL>, <HMI>, <PLC>, <COMUNICACIÓN RS-485>, <MODBUS>, <ANOLITO>.

SUMMARY

This graduate research aimed to implement an automated prototype to control the level of analytes in the Ciauto paint plant. The prototype consists of a panel and a Human-Machine Interface (HMI) to control two systems: demineralized water (DI) and soft water. The first DI water system allows for the control of analyte levels based on the conductivity variable. Two modes are considered for the activation and startup of the DI system: automatic and manual. It consists of six stages: the first one delivers the necessary voltage to power the control and protection devices. The signal acquisition stage, composed of level and conductivity sensors, enables the on/off control of the pump and the opening/closing of the solenoid valves. These signals are sent to the processing stage, whose main element is a PLC-LX3V responsible for sending and activating output signals based on the control process's stage-transition grafcet. Consequently, it activates the power stage pump, producing water circulation. The control and visualization of the system states are carried out through an HMI-LEV12070D panel. The final stage enables RS-485 communication between the processing stage and the HMI. The soft water system has stages similar to those of the DI system. As a result, it was determined that the communication maintained a response time of 1 ms without data loss and with coherent responses to commands executed from the interface. Therefore, it is concluded that the HMI provides a user-friendly design for efficient control of conductivity levels in the analyte tank. Implementing a SCADA system for better process control is recommended.

Keywords: <AUTOMATION>, <LEVEL CONTROL>, <HUMAN INTERFACE MACHINE (HMI)>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <RS-485 STANDARD COMMUNICATION>, <MODBUS COMMUNICATION PROTOCOL>, <ANOLYTE>.



LENIN IVAN LARA OLIVO

0602546103

INTRODUCCIÓN

Actualmente, gracias a la inserción y el avance continuo de la tecnología, así como la invención de dispositivos electrónicos y mejora de los mismo, la posibilidad de implementar sistemas automatizados dentro del área industrial ha ido creciendo en gran magnitud y dando como resultado grandes impactos favorables en las empresas dedicadas a la manufactura. La aceptación de automatizar los sistemas industriales tuvo mucho éxito por la facilidad de manipulación y reducción de actividades redundantes dentro de los procesos que realizan las empresas, es decir estos sistemas automatizados tienen la capacidad principal de simplificar el tiempo de operación aumentando la eficiencia y rentabilidad.

Por tanto, la presente investigación se refiere a la implementación de prototipo que permita la automatización del sistema que controle el nivel de anolitos presentes en el agua DI que se suministra para el proceso de e-coat, este proceso es utilizado para el curado de la pintura de las carrocerías en la planta de Pintura de la empresa Ciauto Cía. Ltda. El proceso de e-coat depende directamente del agua de anolito, cuyo requerimiento principal es mantener el nivel de conductividad en un valor que no sobre pase el límite máximo de 4000 uS/cm establecido por la empresa para el proceso.

Previo al proceso de curado de pintura e-coat que se realiza en la cuba 8, se requiere que la carrocería atraviese por un proceso de enjuague el cual se efectúa en la cuba 7 con agua desmineralizada, para lo cual también se ha diseñado en el HMI un sistema de control que permita ejecutar la puesta en marcha de ambos procesos desde un mismo tablero.

Por ello, se ha visto la necesidad de implementar un prototipo que controle y permita la visualización del encendido o apagado de las bombas de los sistemas de agua DI y de agua blanda basado en el nivel de conductividad eléctrica que existe en el tanque de anolito.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se expone el origen del problema del proyecto técnico que se plantea resolver, se da a conocer la relevancia del mismo a través de la justificación teórica donde se da a conocer la relevancia que tiene este proyecto. Además, en la esta sección se muestran los objetivos a desarrollar y la metodología utilizada.

1.1 Antecedentes

Ecuador, cuenta con la presencia de distintas empresas ensambladoras de vehículos tales como: AYMESA, General Motors del Ecuador y HYUNDAI, las mismas que distribuyen y comercializan tanto vehículos como componentes estrechamente ligados a la Producción Automotriz. La evolución de los diseños y actualizaciones en los vehículos son cada vez más demandados por lo que el mercado automotriz ha ido creciendo, esto trae consigo que en el año 2013 se inserte en el mercado ecuatoriano la empresa Ciudad del auto Ciauto Cía. Ltda. con una nueva e innovadora marca de vehículos de calidad (Gutierrez, 2016).

La provincia de Tungurahua históricamente no ha tenido proveedor local de automotores, pero en la última década, en la ciudad de Ambato se creó la primera empresa ensambladora de autos del centro del país, Ciauto Cía. Ltda. es una empresa que tiene como finalidad el ensamblaje de vehículos de la marca GREAT WALL (modelos: Haval, Wingle y M4) y SHINERAY, la Ciudad del Auto en la actualidad produce en un intervalo de 18 a 25 autos cada día.

La creación de las plantas de soldadura, pintura y ensamble han sido primordiales en la Ciudad del Auto para llevar a cabo esta laboriosa misión y mantener una producción activa y de calidad. La nave de pintura posee un sistema de anolito indispensable en el acabado de la película Ecoat, la circulación continua de esta solución a través de cada celda es importante para evitar que la concentración de ácido se mantenga excesivamente alto dentro de la misma, y con ello la necesidad de contar con sistemas automatizados y actualizados que ayuden a controlar y mejorar la eficiencia en la producción, lo cual se convierte en ahorro de tiempo, dinero y reducción de fallos y errores.

1.2 Planteamiento del problema

¿Cómo se puede implementar un prototipo automatizado para el control de nivel de anolitos para la planta de pintura Ciauto Cía. Ltda.?

1.3 Justificación

Para garantizar la eficiencia y calidad en los procesos productivos secuenciales que se realizan en la planta de pintura se requiere de estudios continuos; Ciauto es una empresa que se caracteriza por la innovación e implantación de equipos y maquinaria de la mejor calidad, entre ellos se destaca la implementación de sistemas automatizados que mejoran notablemente el desempeño en la planta de producción.

La implementación de un sistema automatizado para el control de nivel de anolito en la cuba o piscina de Ecoat y el abastecimiento de agua desmineralizada o desionizada (DI) y agua blanda en la planta de pintura constituirá grandes beneficios económicos al reducirse de forma importante el desperdicio de agua y energía, así como las horas-hombre del operario que realiza esta tarea de forma manual. Al final, se pretende lograr un revestimiento de la película Ecoat de calidad y que cumpla estrictamente con las normas establecidas, por consiguiente, se tendrá mayores ganancias en la productividad.

El agua DI es almacenada en tres depósitos adicionalmente se tiene un depósito para agua blanda, los mismos que demandan de la implementación de sensores de nivel para mantener la cantidad de agua necesaria y de esta manera realizar un control automático/manual que permita el encendido y apagado de la bomba instalada para este sistema.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Proponer la implementación de un prototipo automatizado para el control de nivel de anolitos para la planta de pintura Ciauto Cía. Ltda.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar el funcionamiento del sistema de agua de anolito y los elementos para la implementación del prototipo

- Seleccionar *hardware* y *software* que permite cumplir con los requerimientos de diseño.
- Diseñar e implementar un prototipo que permita mantener el nivel de anolito en un rango óptimo para el proceso de e-coat.
- Realizar pruebas de simulación y evaluación del prototipo.

1.5 Metodología

En el presente trabajo de titulación se emplean diversos métodos de las ciencias, situados en el nivel teórico y empírico:

Métodos teóricos:

Bibliográfica: consiste en recurrir a la información de varios libros, revistas, artículos científicos, internet, etc. para obtener información referente a la automatización del nivel de anolito.

Sistemático: permite llegar a la solución de la problemática de forma ordenada, con un análisis adecuado para desarrollar el sistema automatizado.

Evaluación: realizar pruebas para definir el adecuado funcionamiento de los dispositivos y en base a sus resultados cuantitativos, establecer en base a ellos las conclusiones de este trabajo junto con sus recomendaciones.

Métodos empíricos:

Observación: permite explorar situaciones poco conocidas para detectar los aspectos de la problemática, y así encontrar la solución adecuada de los problemas en la investigación.

Medición y comparación: validar los parámetros de diseño y funcionamiento de los dispositivos propuestos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se analizan y detallan las definiciones, parámetros y componentes para la automatización del sistema de agua blanda y el sistema de anolitos para el proceso de control de nivel de conductividad; además, se presentan Tablas comparativas entre los diferentes tipos de controladores lógicos programables e interfaces hombre máquina que puedan adquirirse y adaptarse para la aplicación de este estudio.

2.1 Proceso de electrorrecubrimiento

La fabricación de un automotor inicia en la planta de soldadura con la unión de las partes de las carrocerías. Posterior a este proceso, cada carrocería es transportada a la planta de pintura, en este lugar se realiza el proceso de recubrimiento y pintado mediante cataforesis o ELPO, éste está conformado de subprocesos: desengrase, enjuague, aplicación de una película de fosfato, aplicación de un fondo anticorrosivo por electrodeposición o también conocido como e-coat y el ultrafiltrado. En la Ilustración 1-2 se indica el diagrama de bloques general que describe la secuencia que sigue la carrocería para el electrorrecubrimiento en la planta de pintura.

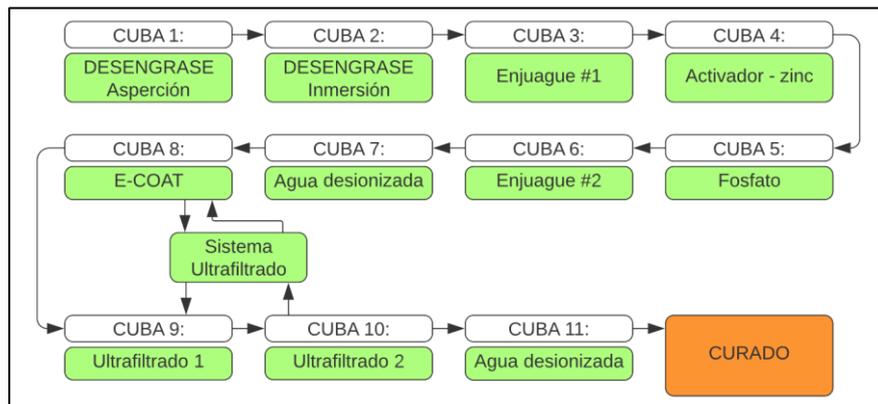


Ilustración 1-2: Diagrama de bloques del proceso de electrorrecubrimiento

Realizado por: Toapanta, C., 2021

2.2 Subproceso de e-coat

En la nave de pintura se realiza el proceso de e-coat en la cuba 8 previo al enjuague de la carrocería en la cuba 7 con agua desmineralizada, este proceso se utiliza ampliamente para adherir una película de pintura a las superficies metálicas de las carrocerías, mediante un choque de cargas

eléctricas. Se introduce la carrocería por 6 minutos aproximadamente en la cuba que contiene solución anolítica como se muestra en la Ilustración 2-2 que contiene partículas de pintura en suspensión cargadas eléctricamente, estas partículas se transfieren a la carrocería gracias a una corriente eléctrica que oscila de 200 a 400 amperios para conseguir una película de dieciocho a veinte y cinco micras de espesor, este rango es establecido por AXALTA que es la empresa proveedora que se encarga exclusivamente del desarrollo, fabricación y venta de recubrimientos líquidos y en polvo. Toda la información expuesta anteriormente fue proporcionada por los encargados del área de mantenimiento de la planta de pintura de Ciauto.

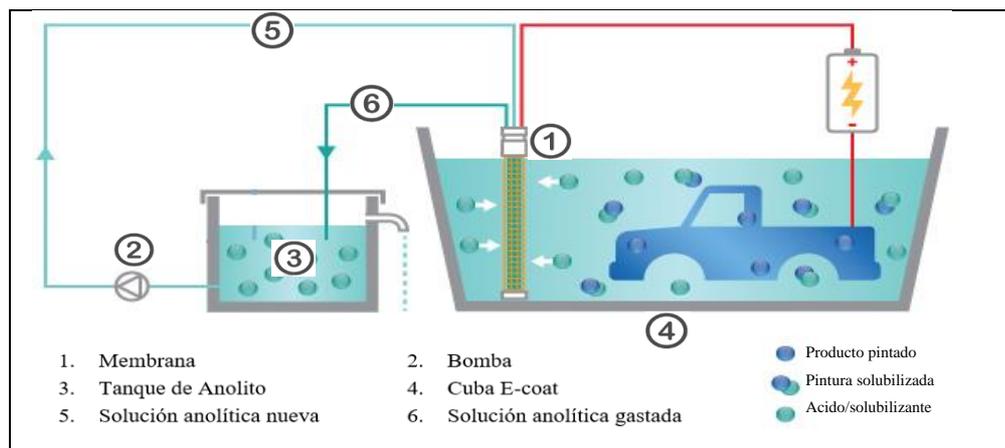


Ilustración 2-2: Esquema de pintado por electrodeposición catódica en la cuba e-coat

Fuente: (Filtration Synder, 2020)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Finalmente, la solución ajustada al rango requerido del tanque de anolitos contiene cantidades exactas de pigmentos de pintura, adhesivos y aditivos que son necesarios para evitar que exista una excesiva acumulación de este pigmento en la carrocería. Conservar las proporcionales ideales de estos componentes es primordial para la estabilidad de la solución anolítica y el éxito en el proceso (Weaver, 2021). En la Ilustración 3-2 se visualiza la cuba 8 y los elementos que lo conforman: celdas anolíticas, aspersores y mangueras.

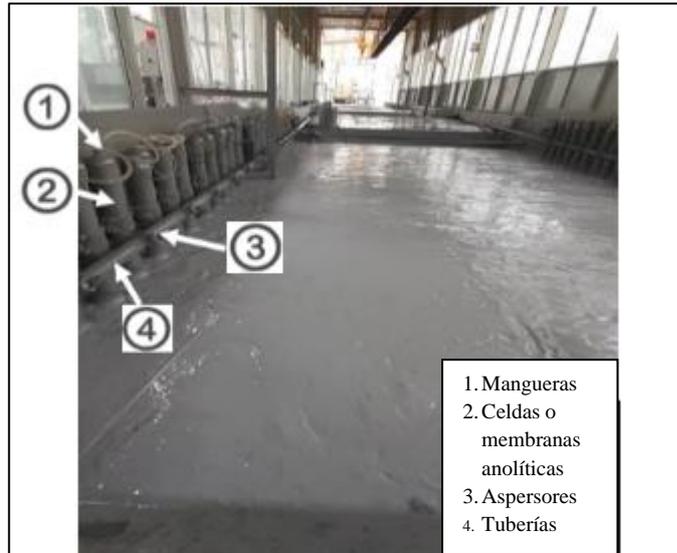


Ilustración 3-2: Cuba de e-coat

Realizado por: Toapanta, C., 2021

La Ilustración 4-2 muestra una carrocería Wingle previo al ingreso a la cuba 8 en donde será pintada, es decir, recubierta por una película de pintura mediante el proceso de electrodeposición.



Ilustración 4-2: Carrocería previo al proceso de electrodeposición

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Una película de pintura es adherida a la carrocería por medio del proceso de electrodeposición cuando la carrocería es sumergida en la cuba de e-coat, en la Ilustración 5-2 se observa una carrocería que se eleva después del proceso.



Ilustración 5-2: Carrocería posterior al proceso de electrodeposición

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Para comprender la secuencia que sigue el proceso de e-coat se presenta un diagrama PID en la Ilustración 6-2 que muestra los componentes del sistema de anolito y e-coat implementados en la planta de pintura actualmente.

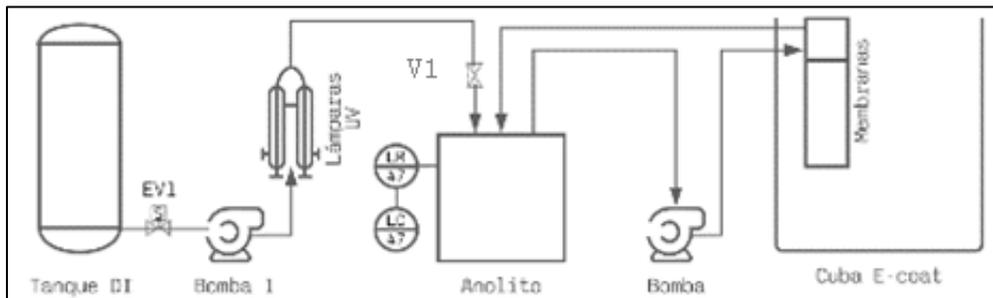


Ilustración 6-2: Diagrama PID del proceso de e-coat implementada en Ciauto

Realizado por: Toapanta, C., 2021

2.2.1 Sistema de anolito

Consta de celdas anolíticas y un tanque de anolito. Contar con un sistema de anolito es necesario para poder remover el ácido que se libera en el proceso de electrodeposición. Hay 2 características en el sistema de anolito: las membranas de intercambio aniónico semipermeables en los ánodos y la alimentación de agua la cual se regula por medio de un medidor de conductividad. Una bomba centrífuga que permanece encendida las 24 horas del día y los 365 días del año, con el fin de eliminar el ácido que se expulsa en el proceso de electrodeposición. La funcionalidad del sistema de anolito es controlar el nivel de conductividad, este parámetro debe permanecer en un rango de 2000 uS/cm a 4000 uS/cm, caso contrario, si supera los 4000 uS/cm, el operario tendrá que encender la bomba 1 y permitir el paso de agua desionizada (DI) en el tanque de anolito para mantener la conductividad estable dentro del rango predeterminado. Actualmente, el personal del

área Química de AXALTA mide la conductividad del agua de anolito con un instrumento portátil denominado conductímetro. Esta información fue obtenida del personal encargado de la planta de pintura

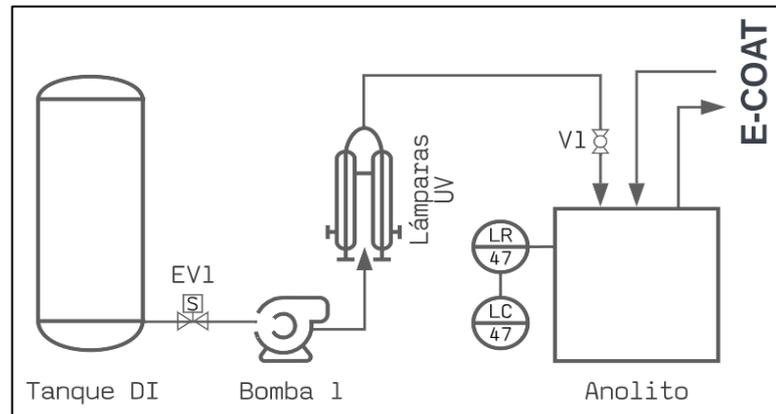


Ilustración 7-2: Diagrama PID del sistema de anolito implementado en Ciauto.

Realizado por: Toapanta, C., 2021

En la Ilustración 7-2 se presenta el diagrama PID del sistema de anolito, este sistema implementado actualmente en la planta de pintura es controlado únicamente de modo manual y para la automatización se considera que el nuevo sistema conste de sensores de nivel en el tanque (DI), una electroválvula y una alarma para caso de fallos.

Agua desionizada: La osmosis inversa es uno de los varios procesos de membrana conducidos bajo presión, para la purificación del agua. La osmosis inversa es una técnica muy útil y bien desarrollada para la purificación y desalinización del agua (ACQUA TECNOLOGIA, 2021). Cabe mencionar que en varias etapas del proceso es necesario tener suministro de agua desionizada. Es necesaria una planta de ósmosis inversa para tener estos volúmenes de agua a nuestra disposición y para realizar los mantenimientos en las etapas necesarias del proceso, ya que los enjuagues tanto de agua desionizada como los de agua blanda deben de ser suministrados constantemente con agua.

2.2.2 Sistema de agua blanda

Es el sistema encargado de proporcionar agua con baja cantidad de minerales o blanda a los distintos puntos de abastecimiento como: cubas, boiler y cisterna, siempre que exista suficiente agua en el tinaco de agua blanda según el requerimiento del operario. Actualmente, en la planta de pintura se encuentran instalados los componentes que se encuentran en el diagrama PID de la

Ilustración 8-2, consta de una bomba que impulsará el paso de agua para cada uno de los puntos requeridos, un tanque hidroneumático y un presostato como se muestra en la Ilustración 8-2.

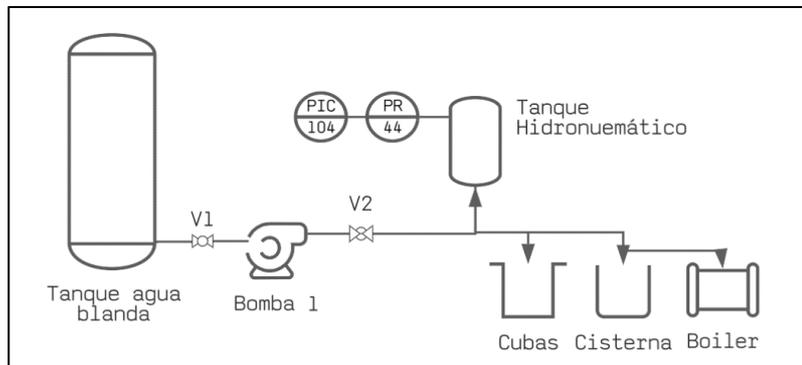


Ilustración 8-2: Diagrama PID del sistema de agua blanda actual

Realizado por: Toapanta, C., 2021

2.3 Redes de comunicación industrial

De acuerdo a (Ortíz Rosas, 2018), los sistemas de comunicación son diseñados con el fin de cubrir las necesidades de intercambio de información entre dispositivos o equipos. Los elementos básicos para que exista comunicación son: emisor, mensaje y receptor. Las redes de comunicación industrial son un medio importante para enviar y recibir datos, controlar los datos y velocidad poseer la agilidad necesaria para enlazar varios equipos y dispositivos. A continuación, se detallan los tipos de comunicaciones para utilizadas para los procesos industriales según menciona (Arroyo Bernal, 2021):

PROFINET: Process Field Network es considerado un protocolo de comunicación ethernet de tipo industrial, el cual está basado en TPC/IP. El objetivo principal es el de intercambiar información entre los controladores y dispositivos. Esta red tiene la característica de ser muy rápida y precisa.

Ethernet / IP: es un protocolo de comunicación capaz de aplicarse en medios de automatización industrial. Está basado principalmente en los protocolos bajo la estandarización TCP/IP, que generalmente utilizan *hardware* y *software* Ethernet por ser el más conocido en el ámbito de la automatización industrial para establecer comunicaciones que permiten configurar, acceder y controlar dispositivos.

OPC: El protocolo de comunicación OLE for Process Control (OPC), es un estándar que va extendiéndose cada vez en el ámbito industrial, ya que está basada en la tecnología Microsoft.

Este protocolo posee una estructura que se conoce como cliente-servidor, lo que permite que suministre datos actuando como un servidor mientras que el cliente lee y/o modifica estos datos.

Modbus: Es un protocolo que permite la comunicación entre redes de PLC, fue creado por Modicon. Posee varias versiones dentro de las cuales se destacan las siguientes: Modbus ASCII, Modbus TCP/IP y Modbus RTU. Una característica de este protocolo es que admite una distancia de 15 metro como máximo para la transmisión de datos, sin embargo, también puede comunicar a 1200 metros a través de sus puertos seriales RS-232 y RS-485.

Para el presente trabajo se ha seleccionado la comunicación Modbus, este protocolo presenta características relevantes que se adaptan al controlador PLC Wecon por su capacidad de conexión mediante puertos seriales RS-485.

2.4 Protección IP

La protección IP para gabinetes y equipos se basa en la norma ANSI/IEC 60529, que ofrece la clasificación del grado de protección para las cubiertas de los equipos. Esta norma acuerda dos condiciones fundamentales: protección para evitar el ingreso de líquidos principalmente agua y protección para evitar el ingreso de sólidos contaminantes, peligrosos o desconocidos (Obering, 2012).

Para conocer el nivel de protección que poseen los elementos o dispositivos, se maneja un código que consiste de dos letras que no varían “IP” y dos dígitos numéricos como se especifica en la Tabla 1-2:

Tabla 1-2: Norma IEC 60529 – Protección IP

Elemento	Número	Descripción para la protección de equipos	Descripción para la protección de personas
Numero característico	IP	-	-
Primer número característico	0	Contra el ingreso de objetos sólidos extraños: Sin protección	Contra el ingreso a partes peligrosas con: Sin protección
	1	≥ 50 mm diámetro	Dorso de la mano
	2	≥ 12.5 mm diámetro	Dedo
	3	≥ 2.5 mm diámetro	Herramienta
	4	≥ 1 mm diámetro	Cable
	5	Contra el polvo	Cable
	6	Hermético al polvo	Cable
Segundo número característico	0	Contra el ingreso de agua con efectos nocivos: Sin protección	-
	1	goteo vertical	-
	2	goteo a 15°	-
	3	caída de agua a 60° (lluvia)	-
	4	salpicaduras de agua en todas las direcciones	-
	5	chorros de agua de cualquier dirección	-
	6	inundaciones esporádicas	-
	7	inmersión temporal	-
	8	inmersión continua	-

Fuente: (Obering, 2012)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

2.5 Tableros de control eléctrico

Son paneles en donde se encuentran instalados los dispositivos y equipos de seguridad y los mecanismos de control de un sistema eléctrico. Es necesario contar con mecanismos de protección y supervisión debido a que los motores manejan grandes potencias, que permitan el control y monitoreo de las variables de operación como: estabilidad de frecuencias, consumo de corriente, corrientes parasitas, encendido y apagado de motores, entre otros. Hay dos tipos principales de tableros de control: aquellos que poseen variadores de frecuencia y los que no tienen estos equipos. Los primeros como se muestra en la Ilustración 9-2 trabajan en un rango variable de frecuencia y por tanto de las revoluciones del motor lo cual facilita el aumento o reducción del caudal de las bombas, mientras que el otro tipo de tablero como se visualiza en la Ilustración 10-2 únicamente trabaja con la frecuencia suministrada por la red que es de 60 Hertz (Carrillo & Saire, 2020).



Ilustración 9-2: Tablero de control “CUBA E-COAT” actual

Realizado por: Toapanta, C., 2021



Ilustración 10-2: Tablero de control “BOMBA AGUA DI”

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Los tableros pueden ser implementados con lógica cableada o programada, el tablero de control “CUBA E-COAT” de la Ilustración 9-2 está diseñado con lógica cableada y consta de 22 pulsadores, 26 luces piloto, 12 luces piloto con alarma y 6 selectores; mientras que el tablero de control “BOMBA AGUA DI” de la Ilustración 10-2 consta de 3 pulsadores, 1 pulsador con llave, 2 luces piloto y 1 selector.

2.6 Automatización

Se define como el conjunto de métodos y una secuencia de procedimientos para conseguir el reemplazo del operador que realiza tareas físicas y mentales que han sido programadas. De esta definición se puede distinguir a la automatización como la aplicación misma de la automática para el control de procesos industriales. En cuanto al control de procesos industriales, se dice que abarca teóricamente el control básico de *feedback* y acciones PID, la instrumentación de control (actuadores y sensores) y aplicación a los procesos industriales. Respecto a los dispositivos de control, los elementos básicos para llevar a cabo el control secuencial son los controladores lógicos programables PLC, el ordenador industrial y los reguladores industriales (analógica o digital) (Asensio & Vilanova, 2017).

2.6.1 Parte de control

El mando o control es la parte encargada de mantener la parte operativa funcionando correctamente bajo ordenamientos preestablecidos por las especificaciones de diseño previo. Por tanto, la clasificación tecnológica es el desarrollo especializado y experimental que ha tenido un gran impacto en el perfeccionamiento de los controladores disminuyendo la complejidad y sumando eficiencia. La clasificación que se muestra en la Ilustración 11-2 expone dos conceptos importantes a considerar para el presente proyecto: la lógica cableada y la lógica programada (Quispe, 2017):



Ilustración 11-2: Clasificación tecnológica

Fuente: (Quispe, 2017)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Lógica cableada: La mayor parte de automatismos fueron hechos de esta manera, consiste en conectar relés con los dispositivos de entrada y salida, estas pueden hacerse utilizando conexiones en serie o paralelo. Se cuenta con diversos elementos: relés de funciones lógicas, conmutación o control, contactores, temporizadores, etc. Este tipo de lógica tiene la desventaja de ocupar un gran volumen, las dimensiones de los relés son considerables pero las funciones que realiza son pocas. Debido a esta desventaja se intenta reducir al máximo el número de relés de tal manera que esto dificulta su interpretación, al punto que se los realiza de forma intuitiva, complicando mucho más al momento de realizar mantenimiento o cuando se desea agregar más elementos necesarios (Corominas & Companys, 2020).

Lógica programada: Lo contrario a la lógica cableada es la lógica programada, en la que se reemplazan los elementos en los automatismos de mando (contactores, relés) por PLC's, considerados como autómatas programables. Permite realizar modificaciones en las operaciones de mando o control cableado, posee similitud en la programación, pero cada fabricante utiliza *softwares* y nomenclaturas específicos. De acuerdo a la norma IEC se puede distinguir en lenguajes de contactos o ladder, puertas o en modo texto (Ribas, 2020).

A continuación, se presenta en la Tabla 2-2 la comparación entre dichos sistemas de control o mando, con la finalidad de elegir la opción adecuada para el desarrollo de este trabajo en base a las siguientes características:

Tabla 2-2: Comparación entre el control por lógica cableada y programada

Características	Lógica cableada	Lógica programada
Escalabilidad	No	Si
Menor costo	Si	No
Robustez en espacios industriales	Si	No
Facilidad de mantenimiento	No	Si
Capacidad de control y monitoreo remoto	No	Si
Digitalización de datos	No	Si
Menor espacio	No	Si

Fuente: (Ribas, 2020):

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Según las características analizadas de la Tabla anterior, se ha seleccionado la lógica programada como la opción más apropiada para la ejecución del proyecto. La escalabilidad, la capacidad de control y monitoreo remoto y la digitalización de datos son características relevantes que facilitan las futuras modificaciones del sistema debido al constante crecimiento que se genera en la

empresa, la lógica programada utilizada un espacio muy reducido y además su mantenimiento es fácil.

2.7 Controlador lógico programable

Son identificados fácilmente por sus siglas en inglés PLC, según (Ise) es un computador, utilizado generalmente en la ingeniería automática y dentro del área de automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, se puede definir de forma exacta a estos dispositivos, NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) establece que los PLC son:

“Dispositivo electrónico que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones que realizan funciones específicas, como operaciones lógicas, secuencias de operaciones, especificaciones de tiempo, contadores y cálculos, para el control a través de módulos de E/S analógicas o digitales en varias máquinas y dispositivos. procedimiento”.

Los PLC’s tuvieron sus inicios en los años 60s y 70s a cargo de las industrias automotrices, su sistema industrial se basaba en los relevadores o relés. El objetivo principal fue la búsqueda de la reducción de costos en los sistemas de control, y presentaron un detalle con las especificaciones de un controlador lógico programable. Estas especificaciones generaron alto interés en grandes compañías. Los PLC’s nacieron como equipos electrónicos que sustitúan a los sistemas de control de relevadores, que de cierta forma generaba dificultades, la instalación era compleja, la poca flexibilidad y entre otras desventajas impulsaron al desarrollo de estos autómatas (Vallejo, 2021).

2.7.1 Estructura general de los PLCs

Consiste en un receptor de señales de entrada y salida como por ejemplo sensores e interruptores, y emplea instrucciones que se almacenan en la memoria programable que permiten controlar las salidas a los componentes como motores, dispositivos neumáticos e indicadores luminosos o sonoros (Arowolo, Adekunle, & Opeyemi, 2020). La Ilustración 12-2, muestra el diagrama de flujo de los componentes y estructura de un PLC (PAC, 2017):

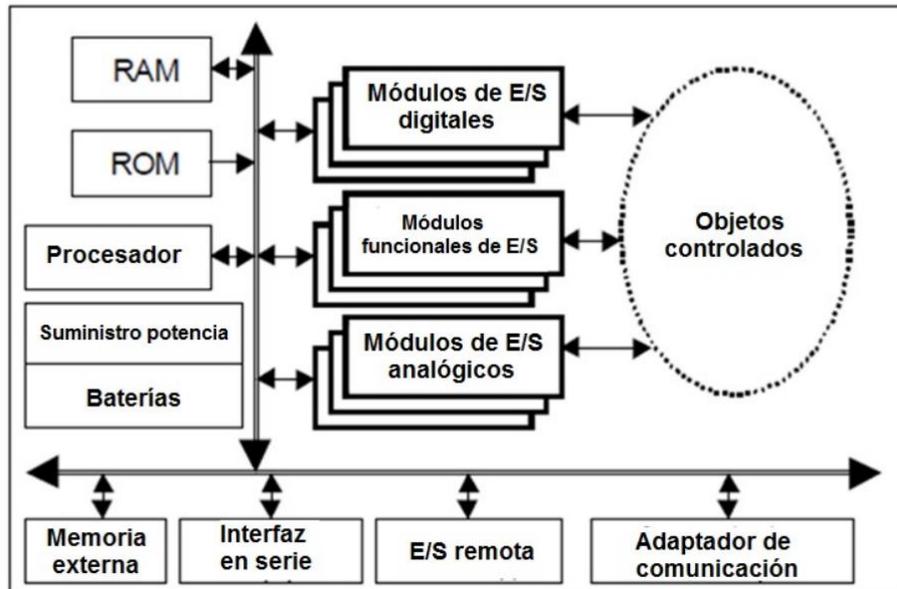


Ilustración 12-2: Diagrama generalizado de un PLC

Fuente: (PAC, 2017)

Unidad central de procesamiento (CPU): Es el corazón del controlador lógico programable. Es la unidad que se encarga de la ejecución del programa de usuario a través del programa del sistema. Las funciones que realiza son las de vigilar que el tiempo de ciclo máximo no sea excedido por el tiempo de ejecución del programa, esta función es conocida como Watchdog. Además, se encarga de ejecutar el programa de usuario que no debe permitir el paso directamente a las entradas, debe también renovar el estado de las salidas. Finalmente, se encarga del chequeo del sistema, ya que el PLC cuenta con un ciclo de trabajo. La CPU es la parte fundamental y contiene en su interior el procesamiento del controlador y el cual está basado en un microprocesador que permite realizar diferentes funciones mediante aritmética y operaciones lógicas. Además, la CPU comprueba regularmente el PLC para detectar errores a tiempo (Vallejo, 2021).

Los datos y las instrucciones se almacenan en la memoria que se divide en memoria permanente (PM), y memoria de acceso aleatorio (RAM). La PM, es donde se ejecuta el sistema de operación del PLC y puede ser reemplazada. Sin embargo, la RAM es donde se utiliza, almacena y ejecuta el *software* en cuestión y es el tipo de SRAM más utilizado. Finalmente, los módulos de E/S son módulos de señales (SM) que coordinan la entrada y salida de señales con las señales dentro del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO) y provienen o se transmiten a dispositivos como sensores, interruptores, actuadores, etc. Los SMS analógicos generalmente usan voltaje de CC y corriente de CC. Por otra parte, los dispositivos tales como opto acopladores, transistores y relés se conecta en la salida digital (DO) del SMS con el fin de modificar los estados de la señal de salida y de esta manera proteger a estos dispositivos de

situaciones riesgosa e inesperadas como los cortocircuitos, sobrecargas o voltajes elevados. Los SMS poseen mayor número de entradas y/o salidas digitales en comparación a los analógicos, siendo los primeros más de 8, 16 o 32, mientras que los segundos poseen en total 8 (Vallejo, 2021).

Unidades de Entradas y Salidas de datos digital y analógica: Las entradas y salidas digitales manejan un principio denominado todo o nada, es decir, o no conducen ninguna señal o cuentan con un nivel mínimo de voltaje. Estas entradas y salidas se basan en nivel de bit en el programa de usuario y pueden ser 1 lógico el valor máximo y 0 lógico como valor mínimo (Aguilera, 2002).

Las entradas y salidas analógicas suelen poseer valores dentro de un rango establecido por el fabricante de 0 – 10 V en salidas de tensión y de 4 -20 mA en salidas de corriente, utilizan convertidores de A/D y D/A que se encuentran aislados del CPU. Este tipo de señales están basadas en nivel de palabras o bytes en el programa de usuario (Vallejo, 2021).

Interfaces: Los autómatas, tienen el privilegio de comunicarse con otros dispositivos como por ejemplo los ordenadores. Poseen una E/S serie del tipo RS – 232, RS – 485, Ethernet, GSM, HMI, etc. A través de este módulo es posible manejar todas las características internas de los controladores incluyendo la programación misma, además pueden utilizarse para monitorear el proceso desde un lugar alejado.

Fuente de alimentación: Para que el sistema funcione es necesario que exista un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación internos del controlador y sus bloques. En los PLC son muy comunes los siguientes voltajes $\pm 5V$, $\pm 12V$ y $\pm 24V$ y disponen de dos módulos de suministro de diferencial de potencia.

2.7.2 Tipos de PLC's

Son clasificados según la función que desempeñan (Chiluiza, 2020), el número de entradas y salidas, memorias o marcas, tamaño, y otros, generalmente se clasifican en:

Modulares: Su principal característica se debe a que posee un gabinete individual que se encuentra montado cada componente de su estructura sobre un riel, conectados a través de buses de datos, por cuanto poseen una gran capacidad para el almacenamiento de programas que requieren mayor versatilidad y robustez.

Compactos: Este tipo de PLC se caracterizan por contener en un mismo gabinete todos los componentes que integran su arquitectura, posee relés o transistores como de entradas y salidas

en un número fijo, pero estas pueden ampliarse mediante módulos de E/S, cuenta también con protocolos de comunicación y puertos de conexión con HMI.

Montaje en Rack: La característica principal de este tipo de PLC es que cuenta con una interfaz HMI y los módulos son montados en un rack que se distribuyen dentro de un mismo panel, el tiempo de respuesta es mínimo al momento de realizar intercambios de datos entre los módulos interconectados.

La Tabla 3-2 indica las características PLC's comerciales, comparando las características principales de los tres controladores más comunes y reconocidos comercialmente para una elección viable y factible en la implementación del prototipo:

Tabla 3-2: Características de PLC's comerciales

Características	WECON LX3V	Logo 12/24RC	Zelio Logic 2
Marca	WECON	Siemens	Schneider
Voltaje de Entrada	24 V	24 V	24 V
Entradas digitales/analógica	8 2, [0 – 10 V]	8 2, [0 – 10 V]	6 4, [0 – 10 V]
Salidas	6, Relé	4, Relé	4, Relé
Grado de protección	IP 20	IP 20 e IP 40	IP 20
Puertos	Serial	RJ45	Serial
Comunicación	RS-422 RS-485	S7, Ethernet, GPRS, KNX, Modbus TCP/IP	RS-232
Interfaz para ampliación	Módulos E/S Digitales y Entradas analógicas.	Módulos E/S Digitales y Entradas analógicas.	E/S o 1 interfaz de módem o 1 de comunicación.
Bloques funcionales	138	130	124
Montaje	Riel DIN, Tornillos	Riel DIN	Tornillos

Fuente: Datasheet Wecon, Siemens, Schneider, 2021

Realizado por: Toapanta, C., 2021

En base a la información de la Tabla 3-2, se seleccionó la marca WECON PLC LX3V debido a que ofrece mejores funciones que se adaptan a las necesidades de este proyecto, como por ejemplo presenta más salidas de relé con respecto a los otros dos controladores, además permite comunicación por RS-485 y posee 138 bloques funcionales de programación, su *software* de desarrollo es gratuito, no necesita cables especiales para su programación y su precio es muy accesible.

2.7.3 *GRAFCET*

El grafo funcional de control etapa – transición es una representación estándar del control secuencial el cual, como metodología de la automatización, servirá de base principal para plantear una automatización más completa que aborda un gran número de problemas de automatización que permite una fácil traducción a los algoritmos de programación. Por tanto, se refiere a un automatismo que se combina entre el sistema secuencial y combinacional, es decir, una secuencia de acciones/operaciones de mando reguladas por expresiones lógicas (Asensio & Vilanova, 2017). Los elementos fundamentales de un GRAFCET son:

- **Etapas:** es la representación del estado del sistema en un determinado momento.
- **Transición:** es la función booleana la cual permite los cambios de estados.
- **Líneas de enlace:** representan las actividades de la secuencia y unen las etapas.
- **Reenvíos:** Muestran el destino o la procedencia de las líneas de enlace, esto permite que se eviten ciertas conglomeraciones. (Asensio & Vilanova, 2017).

2.8 **Interfaz Hombre Maquina**

La HMI (por sus siglas en ingles Interfaz Machine Human) es un dispositivo que permite la presentación de datos a un operario (hombre), quien controla y monitoriza el proceso completo mediante una computadora. También se define a la HMI como un puente para que los seres humanos y los ordenadores puedan ponerse en contacto, transmitiendo mutuamente información, órdenes y datos (Noboa Rivera, 2022).

2.8.1 *Funciones de la HMI*

Entre las varias funcionalidades que posee una HMI dentro de un proceso industrial, se consideran las siguientes: monitoreo, supervisión, alarmas y control, según (Lalvay Remache, 2021):

Monitoreo: Consiste en mostrar datos relevantes en tiempo real de un proceso al cual está conectado. Los datos pueden ser numéricos, tipo texto o gráficos, con la finalidad que el operador obtenga una lectura de fácil interpretación. Con dicha información el operador puede tener una visión más cercana en cuanto al estado de un proceso, fallos en los dispositivos instalados o errores del sistema.

Supervisión: La supervisión conjuntamente con el monitoreo son funciones que brindan la posibilidad de configurar directamente desde un ordenador las condiciones de trabajo de un

proceso. Para brindar una idea más clara, dentro de la función de supervisión se establecen parámetros de medición en la programación que cubran los requerimientos del proceso diseñado a fin de que el sistema marche de acuerdo a lo establecido por el programador.

Alarmas: Esta función posee la capacidad de identificar y registrar eventos excepcionales dentro del proceso y los reporta. Las alarmas están basadas en parámetros de control preestablecidos por el programador. Por tanto, una pantalla HMI posibilita la visualización de alertas de indican inconsistencias dentro del sistema, con ello el operario actuará inmediatamente conforme a los requerido por el sistema o estas alarmas simplemente indicaran la culminación de cierto proceso.

Control: Para el control se utilizan algoritmos que configuran los valores necesarios para el correcto funcionamiento del proceso de un sistema con lo cual se mantiene la estabilidad. Al ser una pantalla touch se diseñan botoneras para accionarlas con el objetivo de controlar el encendido/apagado de los equipos instalados a distancia.

2.8.2 Principios de diseño general

Considerar estos tres principios básicos a la hora de diseñar un HMI con el objetivo fundamental mitigar los errores y optimizar las herramientas y elementos que conforman la HMI es muy importante por lo cual (Rodríguez de Ávila, 2012) menciona lo siguiente:

Claridad: los gráficos deben ser entendibles y los mensajes deben facilitar la lectura., se debe ver claramente el estado y las condiciones del proceso, los elementos utilizados para la manipulación del proceso deben ser claramente distinguible, las HMIs debe contener solo información importante, que permita determinar el estado del proceso y las alarmas e indicadores de situaciones anormales deben ser claros, resaltados y distinguibles.

Coherencia: las funciones gráficas deben ser estandarizados, sencillos y que utilicen funciones de ayuda para la manipulación de las HMI, debe establecer un manejo lógico acorde al modelo mental de los operadores del proceso y un desarrollo orientado a las buenas prácticas.

Retroalimentación: el diseño de las HMIs debe minimizar la fatiga del usuario, las acciones importantes del proceso deben tener mecanismos de confirmación para evitar activaciones inadvertidas, los elementos gráficos y objetos de control deben ser desarrollados de acuerdo al funcionamiento del proceso y a los estándares y normas existentes. Debido a que el uso general de las HMI se basa en la supervisión y control de procesos, el objetivo de esto es proveer al

operador información clara, segura y confortable para minimizar la ocurrencia de errores en un proceso determinado.

2.8.3 Normativa para el diseño de la HMI

La Norma ISO 9241, explica acerca del diseño ergonómico de los programas para equipos que utilizan pantallas de visualización, en la parte décima en los capítulos 14, 15, 16 y 17. Se detalla que la interfaz debe cumplir con los principales requerimientos mostrados a continuación (Ames Zegarra, 2015):

- El diseño de la pantalla debe ser clara y fácil de utilizar
- Debe adaptarse al trabajo para lo que fue diseñada
- Debe contener únicamente información necesaria
- Su diseño debe informar acerca del avance de manera que el usuario lo comprenda
- Ser de control sencillo para el usuario
- La apariencia debe consistir en una imagen visiblemente atractiva y de fácil manipulación e interpretación.

Para obtener un diseño práctico se debe combinar algunas ideas básicas establecidas en la normativa basado en el estado del color y en los elementos de control, gráficos y textos de la HMI, así lo menciona (Rodríguez Penin, 2012):

Estado del color: El color y la forma de las señales a utilizarse deben estar en función al procedimiento al que van a ser aplicados, según el real decreto 485/97 mostrado en la Tabla 4-2:

Tabla 4-2: Colores de estado del HMI

Marcha	Abierto	Verde
Paro	Cerrado	Rojo
Advertencia	Preparado	Amarillo
Alarma	Atención	Rojo – Amarillo
Alarma	--	Rojo
Sin alarma	--	Gris – invisible
Metal	--	Gris
Fondos	--	Gris – Verde - Azul

Fuente: (Rodríguez Penin, 2012)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Una de las recomendaciones según (Rodríguez Penin, 2012) es que se combinen algunos elementos para que la información de los indicadores mostrada en la pantalla se visualice de forma clara y no se produzca un amontonamiento de colores primarios o la aparición de colores adicionales.

Elementos de control, gráficos y textos: se muestran las características que se debe seguir según (Rodríguez Penin, 2012):

- Orden lógico, diseño simple y etiquetado
- Eliminar datos irrelevantes o la aparición de los mismos
- Estados binarios gráficamente e indicaciones cuantitativas
- Alineación a la derecha de los números con unidades estándares
- Respetar los espacios entre caracteres y renglones
- Se admite solamente en la cabecera el uso de mayúsculas
- Alinear los objetos dentro de la HMI
- Colocar un botón “regresar” en todas las pantallas y en la misma posición para no generar confusiones

2.8.4 Tipos de HMI

Entre los diferentes tipos de HMI existentes se puede hacer referencia a dos tipos principales de interfaz táctil de usuario y computadores; a continuación, se presentan los conceptos a estudiar de cada uno de estos tipos de HMI:

Interfaz táctil de usuario: es un dispositivo o una pantalla que de manera general es sensible al tacto, su estructura está diseñada para instalaciones en ambientes agresivos, posee un *software* estricto para la descarga del programa. Esta pantalla permite una fácil interacción sin la necesidad de utilizar periféricos de entrada como teclados externos o mouse.

Computadores: se ajusta en *softwares* de lenguajes de programación de alto nivel, cuentan con estándares para su diseño y se encuentran instalados dentro de los gabinetes.

En la Tabla 5-2 se detalla una comparación de las principales características de tres marcas de HMI en función a los PLC's analizados en la Tabla 3- 2:

Tabla 5-2: Comparación de las principales características de HMI

Características	LEVI 2070D	Simatic HMI Basic	Harmony Easy
Marca	WECON	Siemens	Schneider
Voltaje de entrada	24 V DC	24 V DC	24 V DC
Tipo de pantalla	TFT LCD	TFT LCD	TFT LCD
Grado de protección	IP 65	IP 65	IP 65
Puertos	Serial	USB, RJ45	USB, RJ45, Serial
Tipo de comunicación	RS-232C, RS-485	S7, Ethernet, PROFINET, Modbus TCP/IP	Ethernet, RS-232C, RS-485
Conexión con WECON PLC	Si	Si	No

Fuente: Datasheet Wecon LEVI, Siemens, Schneider, 2021

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Las características analizadas de la Tabla 5-2 se asemejan mucho entre sí, sin embargo, se selecciona la interfaz de marca Wecon modelo LEVI 2070D debido principalmente a que Wecon presenta comunicación RS-485 y el costo de adquisición es más accesibles en relación a Siemens y Schneider, por lo que es ideal para esta investigación.

2.9 Válvulas de control

Estos dispositivos cumplen la función de regular el caudal de líquido, el cual es controlado a distancia por una señal neumática o eléctrica sobre un servo actuador que lo pone bajo el mando del controlador” (Cárdenas, 2018). Las válvulas son las encargadas del control que modifica el valor de la variable medida y por tanto de la variable controlada. Al referirnos a las válvulas se considera como elementos finales principales de control (Zhang, 2010).

2.9.1 Válvulas solenoides

Una válvula de control de solenoide es un tipo de válvula de aislamiento que es un dispositivo electromecánico que permite que un dispositivo eléctrico controle el flujo de gas o líquido. El dispositivo eléctrico hace que fluya una corriente a través de una bobina ubicada en la válvula solenoide como se muestra en la Ilustración 13-2, el resultado que se obtiene es un campo magnético que produce el desplazamiento de un actuador metálico. El actuador está conectado mecánicamente a una válvula dentro de la válvula solenoide. Esta válvula mecánica luego se abre o se cierra y así permite que un líquido o gas fluya o sea bloqueado por la válvula solenoide. En

este sistema de control, se utiliza un resorte para devolver el actuador y la válvula a sus estados de reposo cuando se elimina el flujo de corriente (Zhang, 2010).

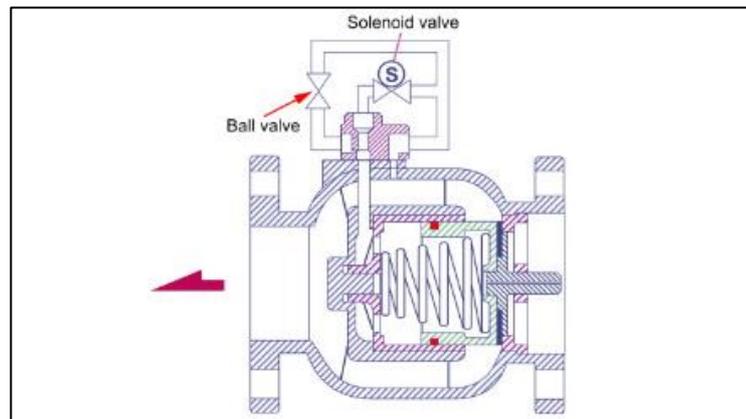


Ilustración 13-2: Un sistema de control con válvula solenoide.

Fuente: (Zhang, 2010)

En la empresa Ciauto en la planta de pintura se encuentran instaladas las electroválvulas en los procesos de anolito y DI, sin embargo, se requiere instalar una electroválvula de 3/4" para el proceso de agua blanda, misma que se encuentra disponible en bodega y es de la marca FESTO, por lo cual, no es necesario adquirir ni realizar un estudio específico de las mismas.

2.10 Conductividad eléctrica

La conductividad es un parámetro muy importante cuando se mide la calidad del agua. En general, cuanto más soluto se disuelve en una muestra de agua, más conductiva es. La conductividad (k) de la solución es la conductividad de 1 cm^3 de solución entre electrodos de 1 cm^2 con una distancia de 1 cm . En la Ilustración 14-2. se representa un recipiente de gran volumen, conteniendo una pequeña cantidad de solución diluida. Dentro de la solución hay una celda de conductancia que está conectada a un medidor de conductividad para realizar mediciones de conductividad. Cuando se diluye la solución inicial, agregando volúmenes conocidos de agua desmineralizada, se puede verificar experimentalmente que la conductividad equivalente aumenta gradualmente, hasta alcanzar un valor límite (Código:, 2015).

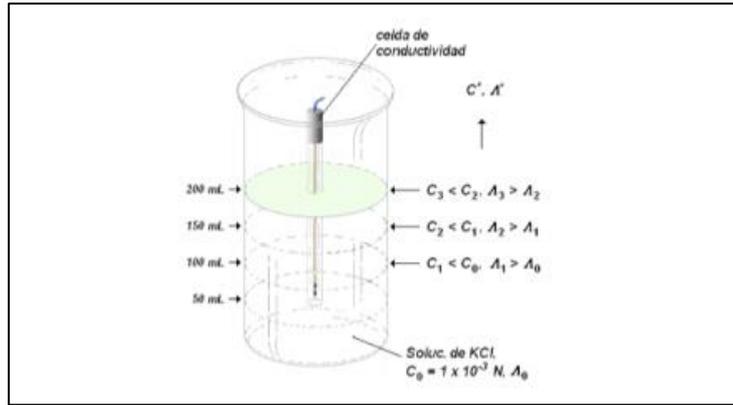


Ilustración 14-2: Dilución sobre la conductividad equivalente

Fuente: (Código., 2015)

2.11 Sensor de conductividad

La Ilustración 15-2 muestra que este tipo de sensores no utilizan electrodos en contacto con la solución a medir, por lo que su mantenimiento y calibración son escasos, y pueden utilizarse en aguas con muy alta conductividad a partir de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todos los sensores táctiles contienen sensores de temperatura y están disponibles en diferentes versiones de montaje (GRUPO MEJORAS, 2017).



Ilustración 15-2: Sensores de conductividad

Fuente: (GRUPO MEJORAS, 2017)

La empresa Ciauto ha adquirido en meses anteriores un controlador y sensor de conductividad de procedencia China, por lo que en este trabajo no se ahonda el estudio de estos componentes.

2.12 Controlador de conductividad

Los controladores de conductividad, resistencia o sólidos disueltos totales (TDS) son diseñados para el monitoreo en línea de soluciones de procesos y aplicaciones de agua. El controlador tiene una programación por menú simple y una fácil configuración. La salida del transmisor también

se puede programar desde el teclado, eliminando la necesidad de configurar potenciómetros o interruptores DIP. La función de calibración reconoce automáticamente la solución de tampón, lo que resulta en una calibración de sistema sencilla y directa (OMEGA, 2020).

2.13 Conductores eléctricos

Son aquellos que presentan un material que permite transportar o conducir la corriente eléctrica. Se dividen en cuatro grupos: buenos, malos y medios conductores y los aislantes (Conductores Eléctricos, 2020):

Buenos conductores: Son conductores de poca resistencia al paso de la corriente, a saber: cobre, aluminio, plata, oro, platino, cobre, mercurio y plomo.

Conductores débiles: Son materiales de gran resistencia que impiden el paso de la corriente, a saber: hierro, acero, ferroníquel, níquel, tungsteno y tungsteno.

Aislantes: Son materiales que impiden o no permiten el paso de la corriente eléctrica, a saber: aire, caucho, lana, vidrio, fibras de yute, plástico, asbesto, mica, baquelita, papel y porcelana.

Medios conductores: son cosas que no son muy conductoras pero que con muchos tratamientos químicos y físicos se vuelven buenos conductores de electricidad y adquieren ciertas propiedades que son útiles para los circuitos eléctricos. Son la base estructural de los transistores (cristales), a saber, germanio, selenio, silicio y torio.

Los conductores eléctricos son una parte fundamental dentro de las instalaciones eléctricas, por tanto, el estudio de su constitución interna y externa es muy importante, según (Conductores Eléctricos, 2020) se clasifican de acuerdo con el aislante, los hay forrados y desnudos:

- *Por su constitución interna:* Cable flexible (muchos hilos), cable rígido (7 hilos), alambre (1 solo hilo).
- *Por el número de conductores:* unifilar, bifilar o dúplex, trifilar y cuadrifilar.
- *Por la naturaleza del material:* Los hay de cobre, de bronce, de aluminio.
- *Por el voltaje o tensión que el circuito lleve:*
 - Alta tensión: Desde 13.200 voltios en adelante.
 - Media tensión: De 440 voltios a 13.200 voltios.
 - Baja tensión: De 1 voltio a 440 voltios.

En la Tabla 6-2 se muestra el calibre del conductor eléctrico y el amperaje que soporta el mismo de acuerdo al tipo de aislante que se requiera:

Tabla 6-2: Calibre de conductores

AMPERAJE – CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW—2, THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
20 AWG	2A		
18 AWG	10A		
16 AWG	13A		
14 AWG	15A	15A	15A
12 AWG	20A	20A	20A
10 AWG	30A	30A	30A
8 AWG	40A	50A	55A
6 AWG	55A	65A	75A
4 AWG	70A	85A	95A
3 AWG	85A	100A	115A
2 AWG	95A	115A	130A
1 AWG	110A	130A	145A
1/0 AWG	125A	150A	170A
2/0 AWG	145A	175A	195A
3/0 AWG	165A	200A	225A
4/0 AWG	195A	230A	260A

Fuente: Construyendo.co

Realizado por: Caterine Toapanta

Para seleccionar apropiadamente el calibre un conductor se requiere conocer la corriente que va a circular de acuerdo a la aplicación en la que será implementada. En el presente prototipo únicamente serán utilizadas conductores de 18 AWG y 12 AWG de acuerdo a la corriente que circula.

2.14 Guardamotores

(ABB, 2016) menciona que los guardamotores son dispositivos de protección para el circuito principal. Estos dispositivos presentan el control del motor y la protección dentro de un solo equipo. Los arrancadores de motor se utilizan principalmente para arrancar o detener motores manualmente y para proteger motores e instalaciones sin fusibles contra cortocircuitos, sobrecargas y fallas de fase. La protección sin fusibles con un sistema de arranque manual del motor ahorra dinero y espacio, garantiza una respuesta rápida en caso de cortocircuito y

deshabilita el motor en milisegundos. El protector de motor realiza múltiples funciones de protección de motor en un solo dispositivo: sensible a sobrecarga, cortocircuito y sensible a pérdida de fase.

2.14.1 Características de los guardamotores

- Control manual
- Mecanismo de desconexión
- El mango puede bloquearse en posición desactivada (OFF)
- Control remoto mediante bobina de mínima tensión o bobina de disparo
- Indicador de desconexión
- Compensación de temperatura
- Ajuste de corriente configurable
- Indicador de desconexión magnética disponible para distintos tipos
- Variantes de 0.1 a 100 A disponibles
- Capacidad de interrupción de cortocircuito ICS de hasta 100 kA

El criterio de selección de los guardamotores depende directamente de la corriente de servicio del motor al que se desea proteger. A continuación, se presenta en la Tabla 7-2 las características de guardamotores en marca siemens que se utilizará para este trabajo:

Tabla 7-2: Características de los guardamotores

Regulación	Contactador bobina	Cortocircuito
1,8 – 2,5 A	220 V	33
2,2 - 3,2 A	220 V	42
2,8 - 4,0 A	220 V	52
3,5 – 5,0 A	220 V	65
4,5 – 6,3 A	220 V	82
5,5 - 8,0 A	220 V	104
7,0 – 10, 0 A	220 V	130

Fuente: Siemens, 2021

Realizado por: Caterine Toapanta

Para el presente trabajo se utilizarán los guardamotores para proteger motores de 1 HP y 3HP que corresponde al rango de corriente de servicio de 2,2 – 3,2 A y 7,0 – 10 A respectivamente.

2.15 Contactor

Según (ABB, 2016), es un dispositivo capaz de cortar la corriente de un colector o instalación con la posibilidad de activarlo a distancia. Pueden ser fijos o estáticos, cuando no recibe acción del circuito de control o inestable, cuando este trabajo funciona.

Se basa en la estabilidad y los cortes de las principales intensidades y de acuerdo al número de rutas de paso de corriente se tienen contactores de tipo bipolar, tripolar, tetrapolar, etc. para llevar a cabo estos cortes se realiza dichas maniobras a la vez en todas las rutas de paso de corriente. (Electricasas, 2018)

Es necesario conocer las siguientes características del receptor:

- La tensión nominal de funcionamiento, en voltios (V).
- En amperios (A) por la corriente de servicio
- La naturaleza del destinatario y la finalidad de su uso, es decir, el tipo de servicio que presta basado en el factor de potencia que maneja como se muestra en la Tabla 8-2:

Tabla 8-2: Factor de potencia según la categoría

Categoría de servicio	Ic / Ie	Factor de potencia
AC1	1	0,95
AC2	2,5	0,65
AC3	1	0,35
AC4	6	0,35

Fuente: (Electricasas, 2018)

Realizado por: Caterine Toapanta

2.15.1 Aplicaciones de los Contactores

En función de la categoría de servicio que brindan los contactores se pueden clasificar conforme se muestra la Tabla 9-2:

Tabla 9-2: Aplicaciones de contactores

Categoría de servicio	Aplicaciones
AC1	Cargas puramente resistivas para calefacción eléctrica
AC2	Motores asíncronos para mezcladoras, centrífugas
AC3	Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores
AC4	Motores asíncronos para grúas, ascensores

Fuente: (Electricasas, 2018)

Realizado por: Caterine Toapanta

En el tablero de control implementado en la planta de pintura se tienen disponibles contactores de marca LS y Schneider y se encuentran en buenas condiciones físicas y de funcionamiento, por lo cual, se considera que no es necesario realizar una selección para la adquisición de otros nuevos elementos de maniobra.

2.16 Presostato

Para (Junta de Andalucía, 2017) es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido. El interruptor de presión también se conoce como el interruptor de presión. El fluido presiona sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que los dos contactos se encuentran. Cuando cae la presión, el resorte empuja el pistón en la dirección opuesta y los contactos se separan. Se utiliza un tornillo para ajustar la sensibilidad del gatillo de un interruptor de presión aplicando más o menos fuerza al pistón a través de un resorte. Suelen tener dos ajustes independientes: presión de encendido y presión de salida.

Presostato mecánico: En la planta de pintura para el sistema de agua blanda se encuentra instalado un presostato de este tipo como se adjunta en la Ilustración 16-2, capaz de convertir un movimiento mecánico en una señal eléctrica, la presión se transmite mediante un accionador sobre un contacto. La contrafuerza producida por la presión se regula con un tornillo prisionero girando en sentido de las manecillas del reloj y corresponde al valor de presión que abre o cierre el circuito eléctrico (Doria, 2022). En la Tabla 10-2 se detallan algunas características del presostato instalado:



Ilustración 16-2: Presostato mecánico

Fuente: Presostatos mecánicos, 2021

Tabla 10-2: Características básicas de un presostato mecánico

Características	Detalle
Tipo de operación	Mecánica
Tipo de fluido	Agua
Rango de presión	20-120 PSI
Alimentación	115 / 230 VAC
Puertos de conexión	1x1/4" NPT

Fuente: Presostatos mecánicos, 2021

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Para el estudio se ha considerado detallar las características principales de un presostato mecánico, debido a que este dispositivo se encuentra actualmente instalado en el sistema a automatizar, por lo que no es necesario realizar una comparativa entre otras marcas.

2.17 Sensores de nivel de agua

En el control de nivel de líquido, se requiere una medición de nivel adecuada para que las actividades de control sean óptimamente efectivas; por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al seleccionar qué sensor usar para la medición.

2.17.1 Tipos de sensores de nivel

Sonda de nivel sumergible: Es una sonda de nivel fabricado en PVC y consta de un sensor de cerámica como se observa en la Ilustración 17-2 que permite una medición constante en aguas de todo tipo. El sensor de cerámica posee un protector que puede ser extraído con facilidad para realizar la limpieza de sólidos que se acumulan en el interior.



Ilustración 17-2: Sonda de nivel sumergible

Fuente: Presostatos mecánicos, 2021

Interruptores de flotador: El sensor de nivel de punto de la Ilustración 18-2, tiene un flotador magnético que se mueve sobre la superficie del líquido, activando un "interruptor de láminas" sellado en el cuerpo. Es fácil de instalar, reduce los impactos, las vibraciones y el estrés, y funciona con una variedad de soportes de montaje. Los interruptores de láminas pueden ser interruptores unipolares, unipolares (SPST) o de doble tiro (SPDT) (Omega, 2020).



Ilustración 18-2: Interruptor de flotador sumergible

Fuente: TAMESON, 2020

Sensor de nivel ultrasónico sin contacto: El sensor presentado en la Ilustración 19-2 tiene incorporado un procesador de señal analógica, un microprocesador, decimal codificado en binario (BCD), switch de rango y un circuito de salida del controlador. El sensor principalmente detecta el eco que se produce en la superficie y la envía de regreso al microprocesador para una interpretación digital de la distancia entre el sensor y el nivel de la superficie. Con estas señales recibidas constantemente, el microprocesador procede a calcular los valores promedios para entregar el nivel de líquido actual (OMEGA, 2020).



Ilustración 19-2: Sonda de nivel ultrasónico sin contacto

Fuente: ASOCIE PERU, 2020

Sensor de nivel por capacitancia: Manejan una medición de nivel puntual o continua. Estos sensores utilizan una sonda para monitorear los cambios frecuentes de nivel de líquido en el tanque, seguido, de forma electrónica se acciona la salida a los valores capacitivos y resistivos, que posteriormente se convierten señales analógicas; la sonda puede ser rígida o flexible, generalmente usa un conductor de acero inoxidable recubierto con aislante OPTE como se muestra en la Ilustración 20-2, este tipo de conductor le permite ofrecer la sensibilidad adicional que se requiere para medir líquidos que son no conductores, granulares o de propiedades dieléctricas bajas (< 4) (OMEGA, 2020).



Ilustración 20-2: Sonda de nivel por capacitancia

Fuente: VEGACAL 62, 2020

En las secciones anteriores se presentaron los tipos de sensores de nivel que se encuentra en el mercado. En este punto es necesario realizar una comparación entre las características principales de dichos sensores de nivel como se observa en la Tabla 11-2, con el fin de seleccionar la opción adecuada que sea capaz de cumplir con los requerimientos y se adapte al medio corrosivo al que será expuesto:

Tabla 11-2: Características básicas de un presostato mecánico

Características	Sonda de nivel sumergible	Interruptores de flotador	Sensor de nivel ultrasónico	Sensor de nivel capacitivo
Fluidos agresivos	Si	No	No	No
Interfaz	RS485 Modbus RTU, RS232, 4-20 mA	Contactos	RS485 Modbus RTU, RS232, 4-20 mA	HART, Profibus, 4-20 mA
Alimentación	8-32VDC	120-240 VAC	24 VDC / 220VAC	24 VDC / 220VAC
Protección IP	IP68	IP68	IP67, IP68	Acero inoxidable, IP67, IP68, IP66
Niveles	0-100 mH ₂ O	0-10 m	0-6 m	0-6 m
Costo bajo	Si	Si	No	Si
Instalación	Flotante	Flotante	Flotante	Empotrado

Fuente: Desin Instruments, VEGACAL 62, TAMESON, 2021

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Para este trabajo se ha seleccionado los sensores de nivel de tipo sonda sumergible que son la opción adecuada para instalarse en los tinacos de agua de desmineralizada y agua blanda, debido a que estos tanques presentan agua con diferentes composiciones químicas lo cual hace que el agua sea agresiva para el material del que están fabricados los sensores, sin embargo, la sonda sumergible está diseñado estrictamente para estos fluidos corrosivos.

2.18 Bomba de agua con accionamiento de motor eléctrico

Son maquinas que tienen la función de transformar energía para mover el agua. Este movimiento, generalmente es ascendente. Las bombas de este tipo como se observa en la Ilustración 21-2 constan de un orificio para la entrada (de aspiración) y otro para la salida (de impulsión). Las volumétricas (bombas de embolo) mueven el agua mediante la variación periódica de un volumen. El rotor se denomina “Rodete” y generalmente tienen la forma de hélice o rueda con paletas. Las bombas pueden ser alimentadas eléctricamente de diversas fuentes (Instituto Geológico y Minero de España , 2014).

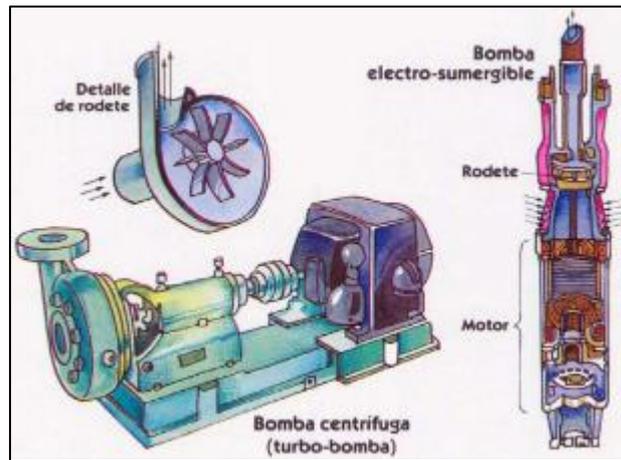


Ilustración 21-2: Bomba centrífuga

Fuente: EVPI, 2017

Accionamiento de las bombas

La forma más general de accionar una bomba es mediante el empleo de motores eléctricos, turbinas de vapor o motores de combustión interna.

El accionamiento con motores eléctricos es el más conocido, debido a su economía y gran velocidad de servicio. Estas velocidades son algo inferiores a las de sincronismo, que para una frecuencia de 50 periodos corresponden a 3.000 r.p.m., 1.500 r.p.m. y 1.000 r.p.m., etc., y para una frecuencia de 60 periodos le asigna 3.600 r.p.m., 1.800 r.p.m. y 1.200 r.p.m., etc. El valor significativo del deslizamiento depende exclusivamente del tipo de motores adquiridos, potencia y tensión de la red eléctrica (Bombas IDEAL, 2016).

La característica principal al momento de seleccionar la potencia de un motor eléctrico es el margen de seguridad que especialmente evitará sobrecargas por inesperadas anomalías del suministro de la red eléctrica, fluctuaciones de nivel del líquido u otras causas. Estos márgenes de seguridad que se detallan en la Tabla 12-2 oscilaran aproximadamente con arreglo a la siguiente escala:

Tabla 12-2: Accionamiento de bombas según la potencia

Potencia absorbida por la bomba	Potencia
Hasta 1 CV	50 por 100 más
Más de 1 a 5 CV	30 por 100 más
De 5 a 10	20 por 100 más
De 10 a 25	15 por 100 más
de 25 en adelante	10 por 100 más

Fuente: (Bombas IDEAL, 2016)

Realizado por: Caterine Toapanta

Este tipo de bombas descrito anteriormente son las que se encuentran instaladas en la planta de pintura de Ciauto para el desarrollo del proceso e-coat.

2.19 Lámparas Ultravioleta

En la planta de pintura de Ciauto se encuentran instaladas un par de lámparas ultravioleta que cumplen una función importante dentro del subproceso e-coat.

La calidad del agua que se obtiene de la lluvia está contaminada con bacterias nocivas. Esta pasa a los tinacos de agua DI y agua blanda para abastecer a cisternas, boiler y principalmente cubas. Este último, requiere agua de excelente calidad y libre de iones, por tanto, los sistemas de desinfección UV compactos proporcionan un sistema confiable, económico y es una forma libre de químicos para proteger el agua. Los productos de VIQUA han sido diseñados y probados para asegurar una alta calidad de agua (AquaIntegral, 2021).

Este tipo de lámparas sobresalen por su versatilidad y funcionalidad en todas las aplicaciones que requiera luz UV, ya que el sistema no prevé el uso de solventes. Su uso principal es para fortalecer o secar materiales mediante polimerización y/u oxidación. El curado UV consiste en la solidificación de pinturas y barnices a través de la utilización de lámparas UV sobre un material durante el proceso de acabado (BCB, 2019). En la Ilustración 22-2 se muestra la lampara UV que actualmente se encuentra instaladas en la planta de pintura y en la Tabla 13-2 se detallan las características:



Ilustración 22-2: Lampara de luz ultravioleta

Fuente: (BCB, 2019)

Tabla 13-2: Características de una lampara UV Viqua BA-ICE-CM

Características	Detalle
Flujo	18 GPM (30mJ/cm2)
Dimensiones	59.6 cm x 8,9 cm
Conexiones I/O	¾" - 1" MNPT
Voltaje	100-240 V
Potencia	60 W
Máx. presión	125 psi
Temperatura	2 – 40 °C
Vida útil	9000 horas

Fuente: AquaIntegral, 2021

Realizado por: Toapanta, C., 2021

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el diseño de *hardware* y *software* del prototipo automatizado para el control de nivel de conductividad en el taque de anolito, se describe las características técnicas, el análisis para la selección adecuada de los componentes y construcción de esquemas eléctricos que conforman el sistema.

3.1 Requerimientos del sistema a automatizar

En base a los estudios realizados en el apartado anterior, se consideran los siguientes requerimientos para la implementación del prototipo del sistema en base a las necesidades:

- Implementar un sistema automatizado que permita mantener el nivel de conductividad deseado en el tanque de anolito.
- Cumplir con los grados de protección IP en los equipos de acuerdo a la normativa ANSI/IEC 60529.
- Permitir autonomía en el manejo de cada sistema.
- Desarrollar una interfaz visual regida al estándar ISO9241.
- Comunicación RS-485 entre el controlador WECON LV3X y la HMI WECON LEVI 2070D
- Selección de equipos con costos accesibles, escalable y de fácil montaje
- El prototipo funcionará mediante un conjunto de instrucciones programados previamente en un controlador WECON LV3X.
- Permitir el control de encendido y apagado de las bombas y electroválvulas de los dos sistemas de agua blanda y de agua desmineralizada.

3.2 Concepción del sistema

El sistema de control automatizado consta de un tablero que en su parte interna posee un controlador programable y un portafusibles. En la puerta del gabinete se encuentra montado un panel HMI touch con un diseño que permita a los operadores el control del encendido y apagado de las bombas y otros componentes de los sistemas de agua blanda y agua DI que mantenga el nivel de conductividad requerido en modo manual y automático. El PLC es el dispositivo encargado de procesar las señales de entrada emitidas a través del HMI, para activar o desactivar las bombas, electroválvulas y lámparas UV, además existe una sirena que indica mediante un

sonido cuando el sistema presente alguna falla o error en los parámetros establecidos y un botón de paro de emergencia con el cual el operario tendrá la posibilidad de detener completamente el sistema. A través del protocolo RS-485 se comunican el PLC con la interfaz. La Ilustración 1-3 muestra el diseño general del proceso del sistema que realiza y los elementos que lo constituyen.

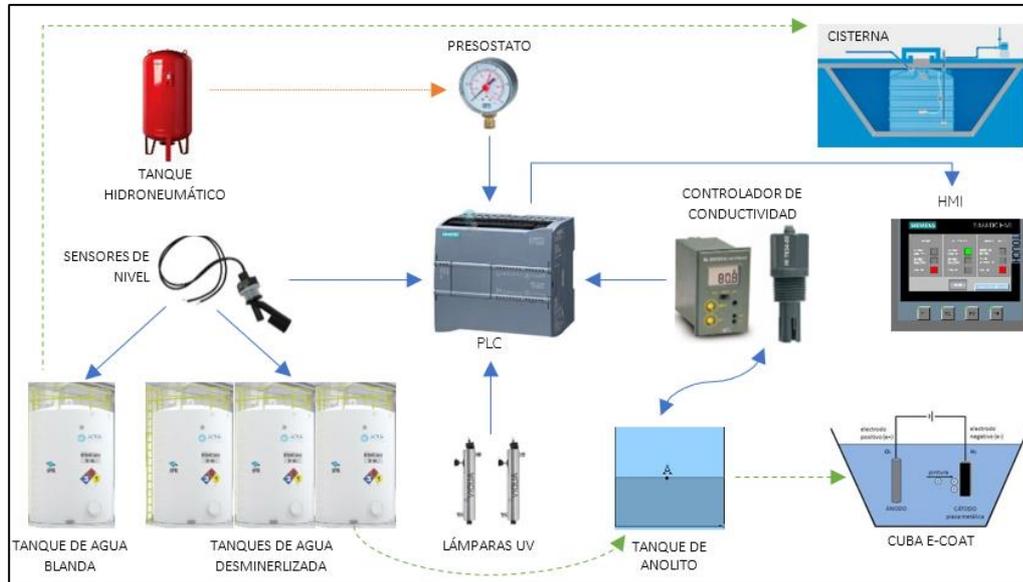


Ilustración 1-3: Diseño general del proceso del sistema

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.3 Arquitectura de *hardware* del sistema

A continuación, se describen los elementos del hardware que se utilizaron en el sistema.

3.3.1 Sistema de agua DI y anolito

El control del nivel de anolito, pasa de ser controlados por selectores y pulsadores a ser controlado por un HMI y un PLC, por tanto, el diagrama PID del proceso de agua DI se visualiza en la Ilustración 2-3, para el control automatizado del nivel de anolito, se cambia la válvula de bola PCV instalada por una electroválvula (EV2), se adiciona un sensor y un controlador de conductividad y se añade un sensor de nivel en el tanque de agua DI. Los valores obtenidos por los sensores simulados tanto del tanque DI (sensor de nivel) como del tanque de anolito (sensor de conductividad) son las entradas que ingresarán al PLC, por otro lado, la bomba (B1) y las electroválvulas son salidas del controlador programable. El sistema de agua DI admite la recirculación del agua entre la cuba e-coat y el tanque de anolito.

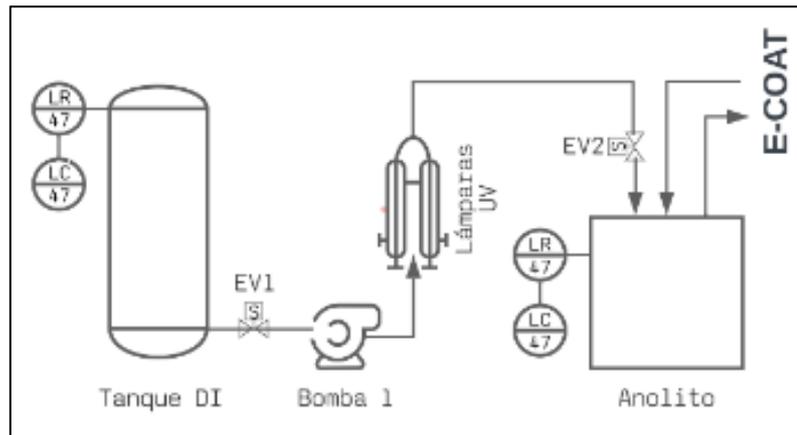


Ilustración 2-3: Diseño general del sistema de agua DI rediseñado

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.3.2 Sistema de agua blanda

El control del sistema de agua blanda, es realizado mediante un selector y pulsadores y con el fin de automatizarlo se implementa un HMI y un PLC, por ende, el diagrama PID del proceso de agua blanda, se representa en la Ilustración 3-3, para el control automatizado del presente sistema, se muda la válvula de bola PCV instalada por una electroválvula (EV1), se adiciona un sensor de nivel en el tanque de agua blanda. La salida del sensor del tanque de agua blanda (sensor de nivel simulado) y el valor de presión obtenido mediante el presostato del tanque hidroneumático son entradas del PLC, y la bomba (B1) y la electroválvula son las salidas del controlador. El sistema de agua blanda acciona la bomba y la electroválvula para abastecer de agua blanda a las cubas, cisterna y boiler

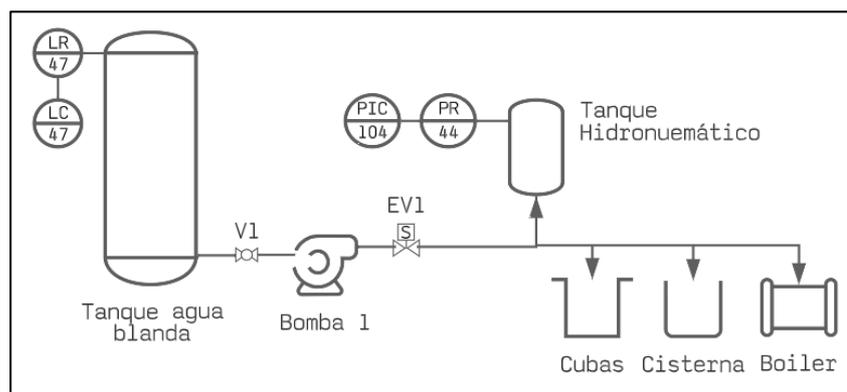


Ilustración 3-3: Diseño general del sistema de agua blanda rediseñado

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.4 Selección de equipos y dispositivos *hardware* del sistema

Después de realizar el análisis de requerimientos de *hardware*, a continuación, se detallan las características principales de los componentes:

3.4.1 Controlador lógico programable WECON lx3x

La serie LX3V de los PLC de WECON como se muestra en la Ilustración 4-3 posee características y varias funciones especiales que hacen que este PLC sea un controlador versátil y fácil de programar. Posee una fuente de alimentación de 85 - 264 VAC a una frecuencia de 50/60 Hz, esta serie cuenta con 14 entradas y salidas diseñadas con un revestimiento óptico de alta velocidad. Para la programación se utiliza un lenguaje de programación Ladder o la lista de instrucciones, en cuanto a la descarga y el monitoreo del programa se lo realiza mediante cable USB con un puerto de comunicación RS-485 (MODBUS) y el *software* de programación es libre. Las especificaciones del PLC seleccionado se presentan en la Tabla 1-3.



Ilustración 4-3: PLC WECON LX3V

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Tabla 1-3: Especificaciones WECON PLC LX3V 0806MR

Características	WECON LX3V 0806MR
Fuente de alimentación	85 – 265V AC, 24V DC
Fuente de alimentación (salida)	24V DC
Entradas (relé)	8xDI
Salidas (relé)	6xDO
Consumo de corriente	<15A AC/DC
Potencia consumida	<35W AC, <30W DC
Tiempo de respuesta	<10ms
Tipo de comunicación	RS-485, RS-422

Fuente: (WECON, s.f.)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.4.2 Pantalla HMI

La HMI cumple una función relevante dentro del sistema de control automatizado que se pretende implementar, por tanto, a continuación, en la Ilustración 5-3 se muestra la HMI WECON LEVI 2070D, con vista frontal y vista lateral que ha sido seleccionado en base a sus características que se puntualizan en la Tabla 2-3. Esta pantalla tiene un tamaño de 7", posee varias interfaces de comunicación sin embargo para este prototipo se utilizó RS-485. El *software* de programación es LEVIStudio y es de acceso gratuito.



Ilustración 5-3: Pantalla HMI

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Tabla 2-3: Especificaciones WECON HMI LEVI2070D

Características	WECON LEVI 2070D
Fuente de alimentación	24V DC
Consumo de potencia	< 8W
Número de colores	260 000
Resolución	800X480
Puertos	Puerto serial
Tamaño	7 pulgadas
Tecnología	LED
Tipo de comunicación	RS-485, RS-422
Tiempo de vida	50 000 horas

Fuente: (ARMOTEC, s.f.)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.4.3 Componentes auxiliares

Soporte para fusibles

Los portafusibles o soporte para fusibles EBASEE RT18Z-32A como en la Ilustración 6-3 poseen la capacidad de trabajar por corriente nominal y corriente de ruptura hasta un máximo de 100 kA. Además, proporciona la función de corte de energía eléctrica causando un bloqueo de seguridad para evitar un mal funcionamiento del sistema de control automatizado. Su voltaje nominal puede alcanzar los 690V, es de fácil montaje sobre un riel DIN y las características principales se exponen en la Tabla 3-3:



Ilustración 6-3: Portafusibles 32A

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Tabla 3-3: Especificaciones Pulsador paro de emergencia

Características	RT18Z-32L fusible
Tensión nominal	1000V DC
Corriente nominal	32A
Numero de polos	2
Estándar	IEC60269

Fuente: (Alibaba.com, s.f.)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Indicador sonoro y luminoso

La serie AD22-22MSD es un indicador sonoro-luminoso posee características excelentes para los sistemas de control como se expresa en la Tabla 4-3. Se compone de un LED, es muy versátil por los voltajes de alimentación va desde los 24 V AC/DC hasta los 220 V AC/DCC. Según la norma se seleccionó el color rojo que es muy típico para señales de alerta, su estructura se complementa con un buzzer para enviar una señal de alarma. Este indicador es óptimo para sistemas de escala menor por su ligero diseño y las dimensiones reducidas que presenta como en la Ilustración 7-3:



Ilustración 7-3: Indicador sonoro

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Tabla 4-3: Especificaciones indicador sonoro-luminoso

Características	AD22-22MSD
Voltaje de alimentación	24V AC/DC, 220V AC
Corriente de funcionamiento	(Ie) ≤ 80mA ≤ 20mA
Vida eléctrica (h)	≥30000
Diámetro	22.5 mm
Color base	Rojo
Grado de instalación	III
Grado de protección	IP65

Fuente: (Made-in-China, s.f.)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Pulsador paro de emergencia tipo Hongo

El pulsador de emergencia de la Ilustración 8-3 es un dispositivo de gran utilidad de marca CAMSCO que sirve para iniciar o detener algún actuador externo en el caso de existir alguna emergencia. Cuenta con enclavamiento, lo que quiere decir que solo es necesario pulsar una vez para que el proceso que detenga. La capacidad del contacto es de 660 V y 10 A y es de contacto normalmente cerrado, por lo que en la programación de Ladder se considera un contacto normalmente abierto como menciona la norma. Las características se detallan a continuación en la Tabla 5-3:



Ilustración 8-3: Botón de paro de emergencia

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Tabla 5-3: Especificaciones Pulsador paro de emergencia

Características	Botón de parada de emergencia
Voltaje de alimentación	24V AC/DC, 110V-220V AC
Corriente de funcionamiento	3 ^a
Tipo de contacto	1 NC
Tipo de acción	Pulso con retención
Color base	Rojo
Grado de protección	IP65

Fuente: (Amazon.com, s.f.)

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.5 Representación esquemática de conexiones

En la sección anterior se describieron los componentes, dispositivos y equipos necesarios para la propuesta de implementación, seguido se presentan los diagramas eléctricos que permitirán realizar las conexiones de forma correcta.

3.6 Diseño por tramos del sistema de control automatizado

En la Ilustración 9-3, se aprecia el diseño del sistema de control automatizado dividido en tramos para mayor comprensión con respecto a la ubicación de los dispositivos que se ha propuesto implementar. Este sistema correspondiente al agua DI la cual, consta de cuatro transmisores de nivel que proporcionan las señales de entradas para el PLC y las señales de salida, que se obtienen de las electroválvulas y las lámparas UV.

- S1, S2, S3 son transmisores de nivel que se instalan en los tinacos los cuales almacenan agua DI respectivamente, y S4, corresponde al tanque de agua de anolito.
- EV1 y EV2 son electroválvulas cuyo funcionamiento es directamente proporcional al funcionamiento de la Bomba 1 (B1) al igual que UV1 y UV2.

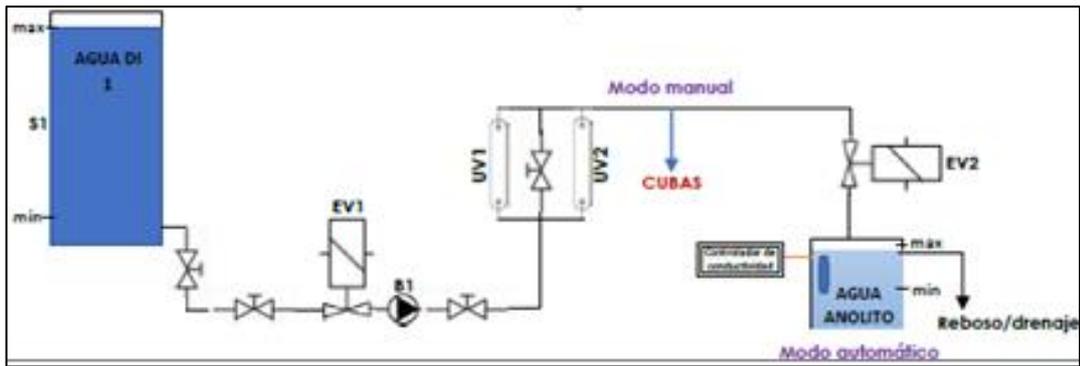


Ilustración 9-3: Diseño del sistema de agua DI

Realizado por: Toapanta, C., 2021

La Ilustración 10-3 pertenece al sistema de agua blanda del cual se obtiene señales de entrada de los transmisores de nivel (S1) colocados en el tinaco que almacena agua blanda, las mismas que serán enviadas al PLC.

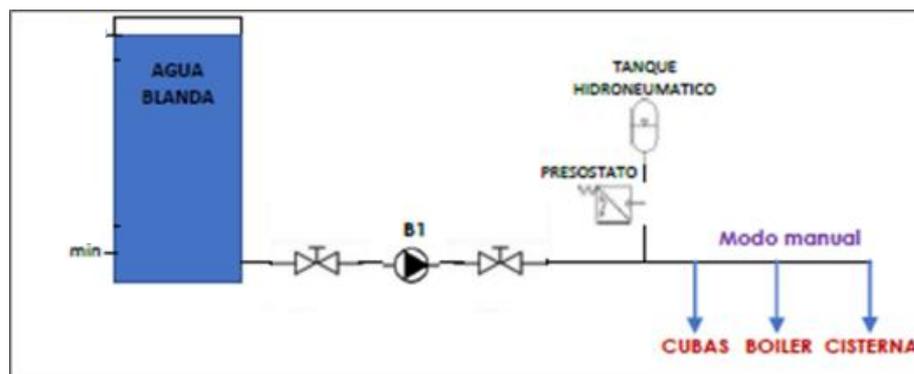


Ilustración 10-3: Diseño del sistema de agua blanda

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.7 Diagramas de flujo de los sistemas

Después de delimitar el diseño general del sistema de control automatizado se procede con el diseño de los diagramas de flujo. Los diagramas de flujo permiten visualizar con más claridad la secuencia del proceso a automatizar, con ello se puede distinguir los estados y acciones que debe tomar el PLC respecto a *hardware*, *software* y las características del trabajo a desarrollar.

3.7.1 Sistema de agua blanda

La Ilustración 11-3 muestra el del diagrama de flujo para el sistema de agua blanda:

1. Inicia con un estado de selección (este puede ser automático o manual)

Del mismo modo en la Ilustración 12-3, se muestra un grafo funcional que corresponde al sistema de agua blanda en modo automático, con lo que se facilita el trabajo al momento de realizar la programación para el controlador:

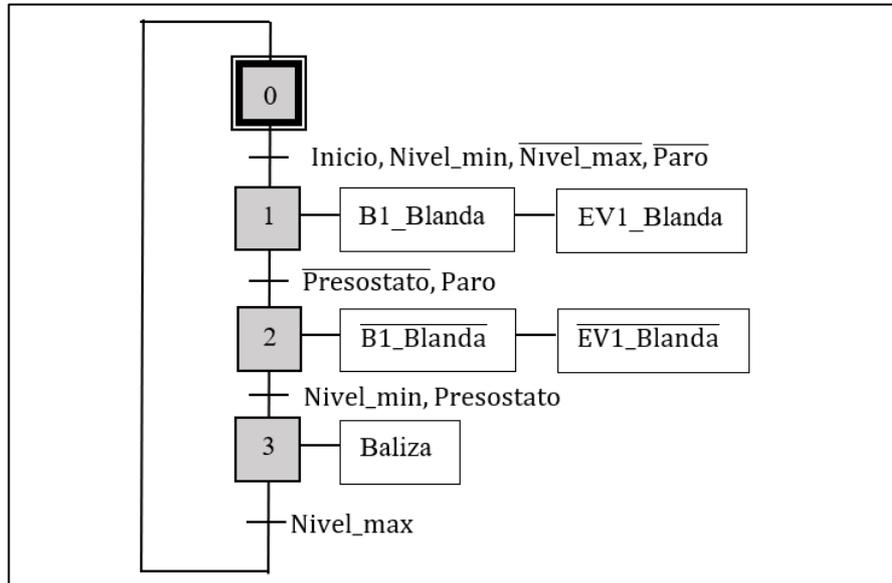


Ilustración 12-3: Graficet del sistema de agua blanda modo automático

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.7.2 Sistema de agua desmineralizada

La Ilustración 13-3 muestra el diagrama de flujo que pertenece al sistema de agua desmineralizada en modo de control automático.

1. En el siguiente diagrama de flujo se inicia con un estado de selección (automático o manual), se analiza el proceso en modo automático.
2. Para este sistema las condiciones a tener en cuenta son: los niveles de agua del tinaco principal y la conductividad presente en el tanque de anolito.
3. Inicialmente se compara los niveles de agua desmineralizada que se encuentra almacenada en tres tinacos (Agua Desmineralizada 1, Agua Desmineralizada 2 y Agua Desmineralizada 3),
4. sí al menos uno de los tres tinacos conserva un nivel de agua adecuado entonces se procede a comparar la siguiente condición correspondiente a la conductividad, es decir, si el valor de conductividad medido en el tanque de anolito es igual o superior a $4000\mu\text{S}$ entrarán en funcionamiento las electroválvulas (EV1 y EV2), se encenderá la bomba 1 (B1) instalada específicamente para este sistema y se activaran las lámparas ultravioletas (UV1 y UV2) de manera síncrona.

5. Si el valor de conductividad obtenido mediante un transmisor instalado en el tanque de anolito es inferior o igual a $2000\mu S$ entonces automáticamente se apagarán los dispositivos y equipos mencionados anteriormente (EV1, EV2, B1, UV1 y UV2). Al realizar esta acción de encendido y apagado en este sistema, se consigue estabilizar la conductividad presente en el agua del tanque de anolito, el agua debe mantener su rango de conductividad eléctrica entre $2000\mu S \leq \sigma \leq 4000\mu S$ los cuales son valores aceptados para el proceso de curado de la película de pintura en la carrocería sumergida en la cuba e-coat. Si inicialmente el operario selecciona el modo manual, tendrá la opción de llenar las otras cubas restantes que igualmente son abastecidas con agua DI.

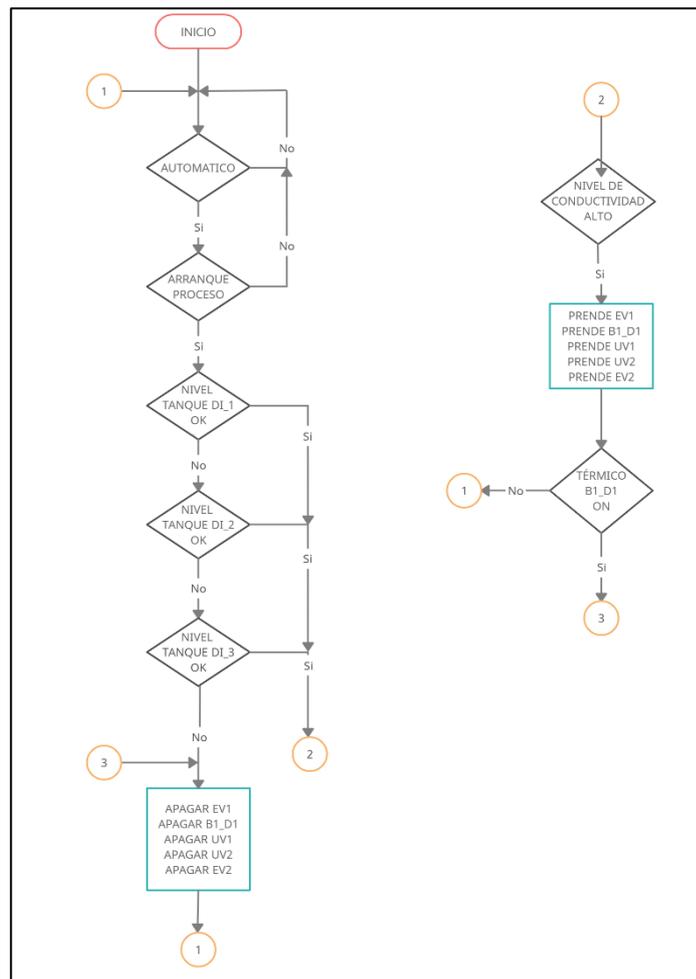


Ilustración 13-3: Sistema de agua DI modo automático

Realizado por: Toapanta, C., 2021

En la Ilustración 14-3 se presenta el grafo funcional correspondiente al sistema de agua de DI en modo automático y manual

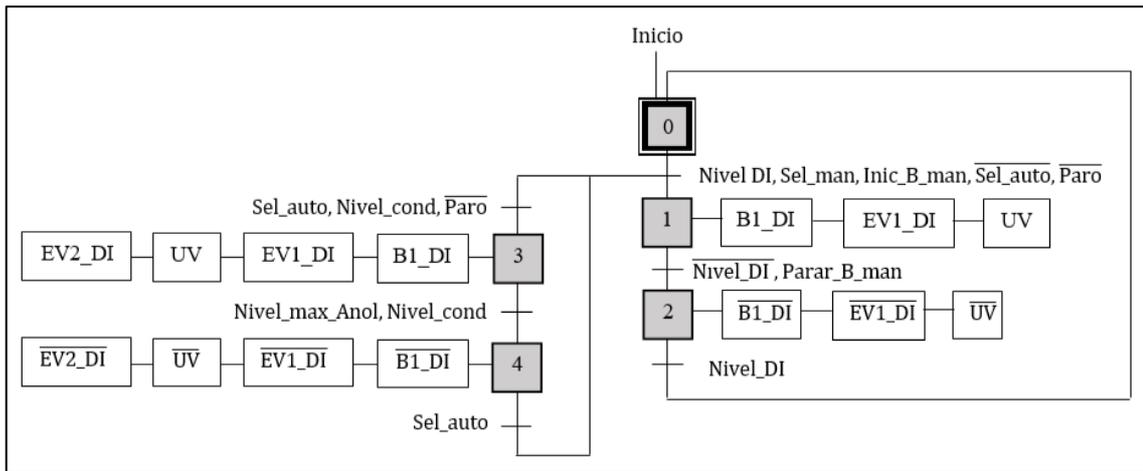


Ilustración 14-3: Grafcet del sistema de agua DI modo automático y manual

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.7.3 Diagrama de conexión

En la Ilustración 15-3 se refleja el diagrama de conexión eléctrica del prototipo con todos los elementos que forman parte del mismo.

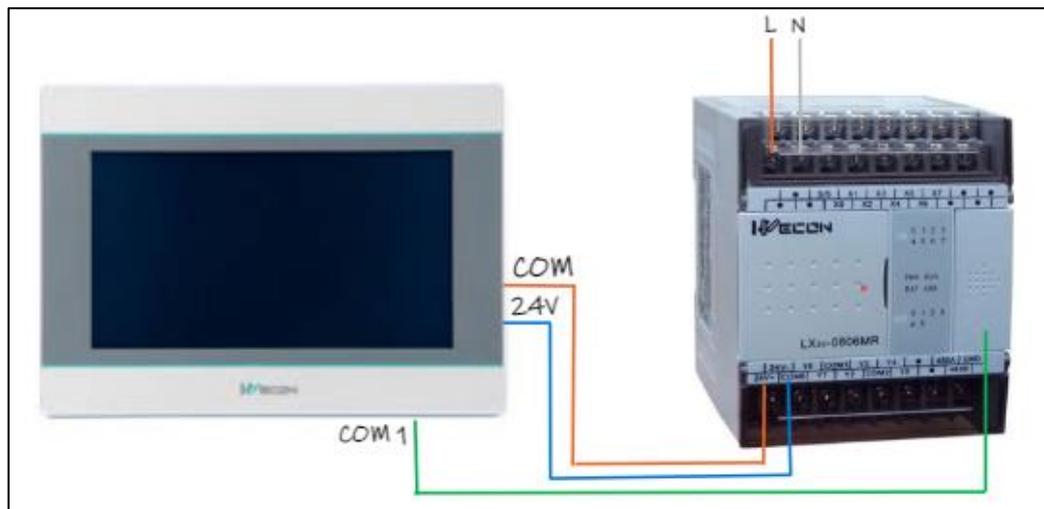


Ilustración 15-3: Diagrama de la red del PLC y HMI

Realizado por: Toapanta, C., 2021

3.7.4 Diagrama de conexión eléctrica del PLC y HMI

El equipo principal en el presente proyecto de automatización es el PLC, puesto que es el encargado de procesar todos los datos de una máquina como en este caso se tienen sensores, botones, y otras señales que en la programación de Ladder se mostraran como marcas. Para posteriormente controlar los actuadores como bombas, electroválvulas, etc., y así controlar el

proceso industrial de manera automática. Se muestra las conexiones de las salidas de relé en el controlador lógico programable. La programación se desarrolla en el PLC WECON LX3V 0806MR. En la Ilustración 16-3 que se presenta a continuación se observa la conexión eléctrica entre el HMI y el PLC:

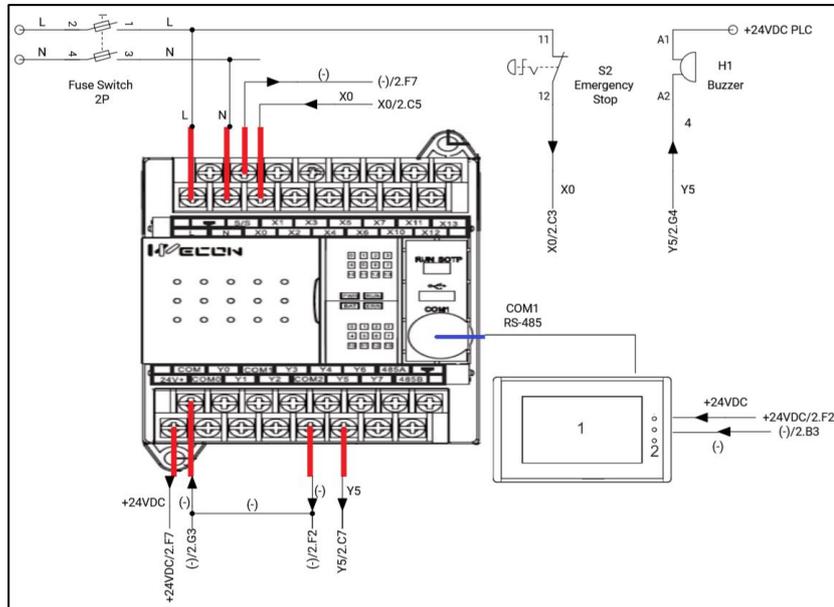


Ilustración 16-3: Diagrama eléctrico del prototipo

Realizado por: Toapanta, C., 2021

- El PLC está conectado a la red de energía eléctrica en los terminales L y N a 110 V en corriente alterna para alimentar la línea de fuerza.
- Los dispositivos actuadores EV1_DI, B1_DI, UV y EV2_DI se encuentran simulados en la interfaz, la salida Y5 del PLC corresponde a la salida física de un indicador sonoro-luminoso implementada en el gabinete.
- Para obtener los datos de entrada a través del HMI se realizó una conexión usando la comunicación RS-485 (terminales COM1 PLC/HMI) que llegarán hasta el PLC y este se encargará de procesar la información.
- Para alimentar el HMI se utiliza el voltaje de salida +24VDC del PLC que se encuentran en los terminales de la parte inferior (terminales 24V+ y COM).
- Se coloca una entrada física que corresponde al pulsador de paro de emergencia en el terminal X0 situado en la parte superior del PLC.
- El terminal S/S es muy importante habilitarlo con voltaje contrario al que se requiere para las entradas digitales del PLC, en este caso se habilitó el terminal S/S con voltaje negativo (-) porque se requiere un voltaje positivo (+) para las entradas.

3.8 Herramientas de *software* del sistema

En base a los equipo o dispositivos es posible realizar la selección de *software*. Para diseñar el controlador se emplea el *software* Wecon PLC Editor y finalmente la interfaz HMI se diseña mediante el *software* Levi Studio.

Wecon PLC Editor

Es un *software* de programación que permite desarrollar grandes aplicaciones debido a su libre acceso, desde la planificación digital, ingeniería aplicada y operación transparente. Es un *software* altamente amigable e intuitivo, utiliza el lenguaje de programación Ladder y la lista de Instrucciones avanzadas, además permite la función de simulación On Line / Off Line y el monitoreo en tiempo real (Portilla & Caraguay, 2018).

LEVI Studio HMI

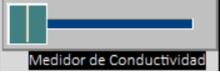
Para diseñar la pantalla dinámica se realiza mediante el *software* de configuración LEVI Studio, mismo que utilizando una idea modular, puede agregar de manera flexible una variedad de funciones de acuerdo con las necesidades del usuario (Yao, 2022). LEVI Studio es altamente amigable e intuitivo, presenta una amplia biblioteca de objetos y gráficos y su acceso es totalmente libre.

3.9 Diseño de pantallas del HMI

A continuación, se presentan las ventanas desarrolladas para la HMI, las cuales contienen selectores, botones de encendido, apagado y emergencia, además se tiene indicadores de nivel de agua, etc. en la Tabla 6-3 se detallan la funcionen de cada uno de estos elementos.

Tabla 6-3: Funciones de los botones de la HMI

Función	Elemento
El botón AGUA DI tiene la función de ingresar a la pantalla vinculada (sistema agua DI)	
El botón AGUA BLANDA permite ingresar a la pantalla vinculada (sistema agua blanda)	
El botón ALARMAS permite el ingreso a la pantalla de alarmas	
El botón TENDENCIAS permite visualizar la pantalla vinculada	

Este botón permite volver la pantalla principal	
Permite retornar a la pantalla anterior	
Permite avanzar la siguiente pantalla	
Selector: este interruptor permite seleccionar el modo de operación, sea Manual o Automático	
Iniciar: permite activar el sistema en modo automático	
Parar: permite detener el sistema en modo automático	
El botón emergencia permite detener imprevistamente el sistema aun cuando el sensor de conductividad indique un valor inadecuado. Funciona en los dos modos de operación.	
El botón ON permite el encendido de la bomba 1 mientras que OFF permite el apagado de la misma únicamente en modo manual	
Deslizador: permite simular la variación del valor de conductividad.	
Este indicador muestra es el estado del nivel del agua en los tinacos de agua DI y blanda. Y simulan la función de sensores de nivel	

Realizado por: Toapanta, C., 2021

Una vez que se ha diseñado los planos eléctricos para las conexiones de los equipos y dispositivos; se procede a diseñar las pantallas del HMI las mismas que permitirán una interacción fácil y rápida con el operario. En el presente proyecto se vio la necesidad de diseñar 5 pantallas. En la Ilustración 17-3 se aprecia el diseño la primera pantalla que consta de una portada y un menú básico para un acceso sencillo, entre las opciones del menú se tiene: botón 1: Agua DI, botón 2: Agua blanda, botón 3: Alarmas y finalmente botón 4: tendencias.



Ilustración 17-3: Pantalla principal HMI

Realizado por: Caterine Toapanta

Al presionar sobre el botón 1 (AGUA DI) automáticamente se traslada a la segunda pantalla que se muestra en la Ilustración 18-3, en esta pantalla se puede visualizar el diseño del sistema de agua blanda como anteriormente se sugirió en la Ilustración 9-3; en esta pantalla se puede apreciar con claridad el nivel de agua blanda que contiene el tinaco, asimismo es posible verificar mediante indicadores luminosos el estado de encendido y apagado de las bombas o si la presión del tanque hidroneumático sube o baja, además esta pantalla cuenta con un submenú que permite ingresar a las otras pantallas o si así se requiere se tiene la opción de volver a la pantalla principal presionando sobre el botón INICIO.



Ilustración 18-3: Pantalla sistema de agua blanda

Realizado por: Caterine Toapanta

La pantalla del sistema de agua DI consta de un diseño simple a la vista del operario, en esta pantalla se puede distinguir los niveles de agua en los tres tinacos de agua DI, se puede también visualizar el valor actual de conductividad y el nivel al que se encuentra el agua del tanque de anolito como se muestra en el diseño de la Ilustración 19-3.

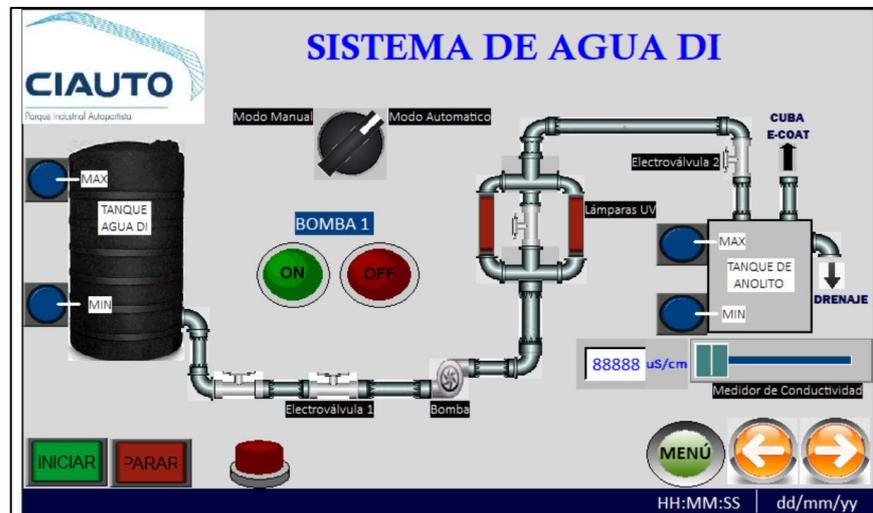


Ilustración 19-3: Pantalla sistema de agua DI

Realizado por: Caterine Toapanta

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se efectúan pruebas de funcionamiento del prototipo del sistema de control automatizado que se ha implementado para los sistemas de agua DI y anolito y agua blanda, se presenta el comportamiento del nivel de anolitos, estabilidad del rango de conductividad en el tanque de anolito y análisis de costos del prototipo.

4.1 Ensayo en el sistema

Una vez que se ha culminado con la implementación de *hardware* como muestran las Ilustraciones 1-4 y 2-4 y *software* para el control del nivel de anolitos (Anexo A), se realizan los ensayos de funcionamiento de la conductividad del anolito y las pruebas ejecutadas fueron las que se presentan a continuación:



Ilustración 1-4: Vista externa del tablero de control

Realizado por: Caterine Toapanta



Ilustración 2-4: Vista interna del tablero de control

Realizado por: Caterine Toapanta

A continuación, se exponen los ensayos en los dos escenarios que se realizaron en el HMI, tanto del sistema de agua DI como del sistema de agua blanda en función de cada parámetro se tomará 3 muestras:

4.1.1 *Ensayo del funcionamiento del sistema de control de conductividad del ac*

En primer lugar se verifica que se muestren los valores en el simulador de controlador de conductividad (medidor) en el HMI, los valores programados son: límite superior de conductividad 8000 uS/cm y el límite inferior de conductividad de 0 uS/cm este rango se considera como un rango útil para analizar correctamente las variable, se usa ese rango solamente con fines prácticos como se muestra en la Ilustración 3-4, para evitar riesgos o daños físicos, para los componentes del proceso es conveniente consideren un rango útil de trabajo de 600 uS/cm a 7000uS/cm.

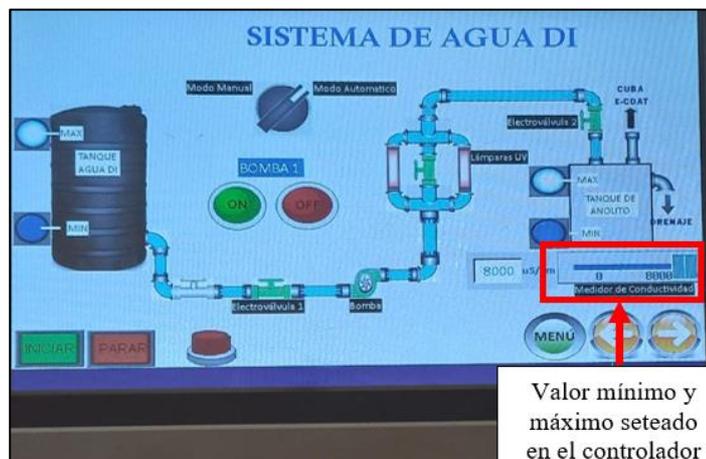


Ilustración 3-4: Valores mínimos y máximos

Realizado por: Caterine Toapanta

En la Ilustración 4-4 se observa que el sistema esta apagado pero conectado a la fuente de alimentacion por que se puede visualizar que hay dos indicadores que simulan la existencia suficiente de agua en dichos tanques, por otra parte se observa tambien que las tuberias y electrovalvulas estan en color plomo lo que indica un estado de OFF, mientras que las lamparas UV se muestran de color rojo oscuro, su estado es OFF.



Ilustración 4-4: HMI - sistema apagado

Realizado por: Caterine Toapanta

Para mostrar el estado de ENCENDIDO del sistema se utilizó el color celeste para las tuberias, verde para las electrovalvulas y bombas, y rojo luminoso para las lamparas UV como se aprecia en la Ilustración 5-4.

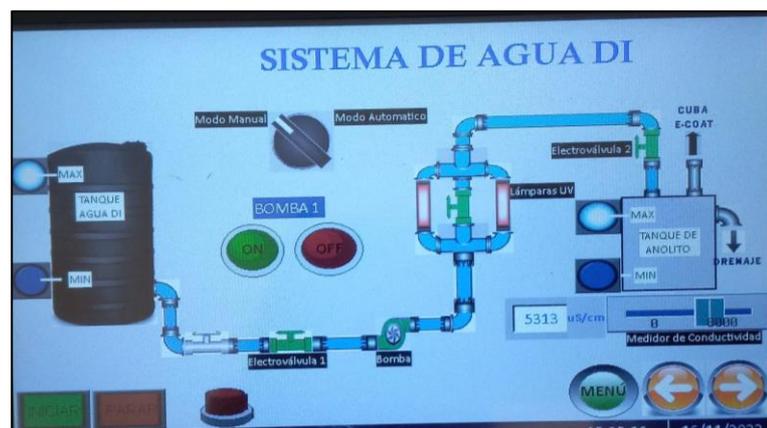


Ilustración 5-4: HMI - sistema encendido

Realizado por: Caterine Toapanta

4.1.2 Pruebas de nivel de conductividad

Para el análisis de resultados se consideró los tres casos planteados inicialmente en este apartado, tomando en cuenta el modo de operación, nivel de conductividad, nivel de agua DI y nivel de agua de anolito. Existen cuatro rangos de nivel de conductividad que se consideran apropiados para verificar el correcto funcionamiento del proceso desarrollado:

- **Rango 1: 0 uS/cm a 2000 uS/cm (conductividad baja)**

En este caso, se tiene que el valor de la conductividad es bajo, por tanto, el PLC apagará la bomba y en general todo el sistema en modo automático, y permanecerá apagada hasta que el valor de la conductividad supere el rango, el proceso se puede observar en la Ilustración 6-4.

Modo: AUTOMATICO
Conductividad: BAJA (0uS/cm – 2000us/cm)
Nivel de agua DI: MAXIMO
Nivel de agua de anolito: MAXIMO
 $\sigma = 855 \text{ uS/cm}$



Ilustración 6-4: HMI con una conductividad = 855 uS/cm

Realizado por: Caterine Toapanta

En la Ilustración 7-4 se aprecia la tendencia del proceso de DI con un valor de conductividad igual a 855 uS/cm establecido en el Rango 1.



Ilustración 7-4: Tendencia de la conductividad = 855 uS/cm

Realizado por: Caterine Toapanta

Para el análisis se tomó en cuenta que los sensores de nivel es máximo y conductividad baja, dentro de este caso se consideró al nivel de conductividad fuera de rango. En la Tabla 1-4 se muestra en resumen los datos de las pruebas realizadas en rango 1.

Tabla 1-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 1

Conductividad (uS/cm)	Nivel de agua DI	Nivel de agua anolito	Modo de operación	Bomba1, EV1, EV2, UV		Baliza	
				Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
0	Max	Max	Automatico	--	Si	--	--
855	Max	Max	Automatico	--	Si	--	--
1956	Max	Max	Automatico	--	Si	--	--

Realizado por: Toapanta Caterine

Como consecuencia de los resultados expuestos en la Tabla 1-4, no se activan ninguna de las salidas (Bomba 1, EV1, EV2, UV) del proceso hasta que recircule el agua catolítica (carga positiva) de la cuba e-coat y pueda recuperar suficiente conductividad hasta estabilizarse.

- **Rango 2: 2000 uS/cm a 4000 uS/cm (rango de conductividad ideal)**

Se puede asegurar que este es el rango ideal de trabajo para que no exista desgaste en las membranas de la cuba e-coat o para evitar la acumulación de ácidos en el agua anolítica de la cuba 8, en este caso el sistema automatizado permanecería apagado ya que se consideró como un tiempo muerto con valores ideales o deseados. El sistema permanecerá apagado hasta que el valor medido supere los 4000 uS/cm.

Modo: AUTOMATICO

Conductividad: IDEAL (2000 uS/cm – 4000us/cm)

Nivel de agua DI: MAXIMO

Nivel de agua de anolito: MAXIMO

$$\sigma = 2198 \text{ uS/cm}$$

En la Ilustración 9-4 se aprecia el proceso de DI con valores de conductividad igual a 2198 uS/cm, establecidos en el rango 2.

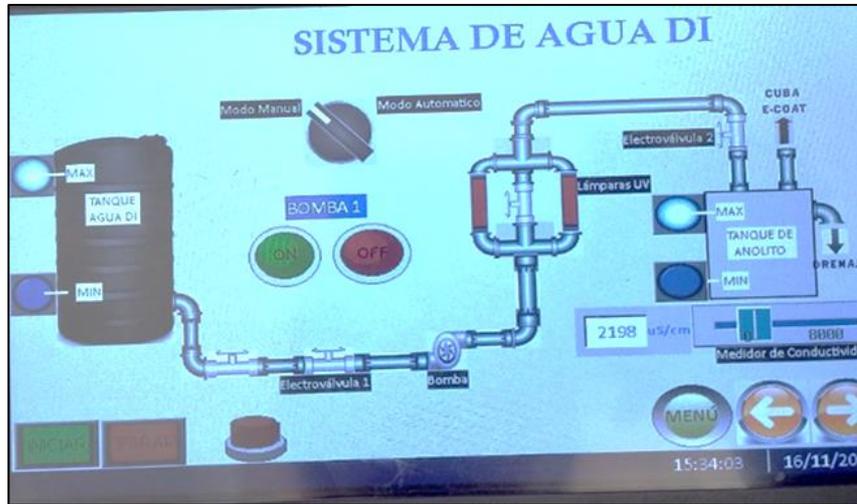


Ilustración 8-4: HMI con una conductividad = 2198 uS/cm
Realizado por: Caterine Toapanta

En la Ilustración 9-4 se visualiza la tendencia con el valor de conductividad 2198 uS/cm para el rango 1. En la Tabla 2-4 se presenta el resumen de los resultados del caso en el rango 2.



Ilustración 9-4: Tendencia de la conductividad = 2198 uS/cm
Realizado por: Caterine Toapanta

Tabla 2-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 2

Conductividad (uS/cm)	Nivel de agua DI	Nivel de agua anolito	Modo de operación	Bomba1, EV1, EV2, UV		Baliza	
				Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
2198	Max	Max	Automatico	--	Si	--	--
2916	Max	Max	Automatico	--	Si	--	--
3153	Max	Max	Automatico	--	Si	--	--

Realizado por: Caterine Toapanta

Los parámetros establecidos para el análisis son sensores de nivel máximo y conductividad ideal, dentro de este caso se consideró al nivel de conductividad está dentro del rango del trabajo. En consecuencia, no se activan ninguna de las salidas del proceso (Bomba 1, EV1, EV2, UV) porque se encuentra en un rango estable.

- **Rango 3: 4000 uS/cm a 7000 uS/cm (conductividad alta)**

Si el valor que se muestra en el controlador se encuentra dentro de este rango se considera conductividad alta. Por tanto, el sistema se accionará activando la bomba y dando apertura de las electroválvulas hasta llegar al set point en 7000 uS/cm, si sobre pasa este valor el sistema seguirá encendido, pero se activará una alarma ya que probablemente este falló por fugas en las membranas.

Modo: AUTOMATICO

Conductividad: ALTA (4000 uS/cm – 7000 us/cm)

Nivel de agua DI: MAXIMO

Nivel de agua de anolito: MAXIMO

$\sigma = 4275 \text{ uS/cm}$

En la Ilustración 10-4 se observa el proceso de DI con un valor de conductividad dentro del rango establecido, A continuación, en la Tabla 3-4 se muestra el resumen de las pruebas realizadas en el rango 3:



Ilustración 10-4: HMI con conductividad = 4275 uS/cm

Realizado por: Caterine Toapanta

Tabla 3-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 3

Conductividad (uS/cm)	Nivel de agua DI	Nivel de agua anolito	Modo de operación	Bomba1, EV1, EV2, UV		Baliza	
				Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
4275	Max	Max	Automatico	Si	No	--	--
5840	Max	Max	Automatico	Si	No	--	--
6334	Max	Max	Automatico	Si	No	--	--

Realizado por: Caterine Toapanta

En consecuencia, se activan las salidas del proceso (Bomba 1, EV1, EV2, UV) porque se encuentra en un rango superior al establecido.

- **Rango 4:** mayor a 7000uS/cm (supera el límite de conductividad)

Es muy poco probable que el sistema de anolitos entre en este rango debido a los parámetros establecidos anteriormente. Sin embargo, en el caso que se produjera esta alteración, el sistema de agua DI se detendrá y se encenderá el buzzer como indicador de que el sistema ha superado el nivel de conductividad y así el operario podrá tomar las acciones necesarias con respecto a esta situación.

Modo: AUTOMATICO

Conductividad: > 7000us/cm

Nivel de agua DI: MAXIMO

Nivel de agua de anolito: MAXIMO

$\sigma = 8000 \text{ uS/cm}$

En la Ilustración 11-4 se observa el proceso de DI con un valor de conductividad fuera del rango establecido, el valor supera los 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la Ilustración 19-4 se visualiza la tendencia con ese valor de conductividad



Ilustración 11-4: HMI con conductividad = 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Realizado por: Caterine Toapanta



Ilustración 12-4: Tendencia de la conductividad = 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Realizado por: Caterine Toapanta

En consecuencia, se activan o se mantienen activas las salidas del proceso y se activara un indicador sonoro y luminoso como en la Ilustración 11-4 para dar aviso al operador de que el valor de la conductividad excedió del valor máximo establecido. La Tabla 4-4 indica el resumen de las pruebas realizadas en el rango 4:

Tabla 4-4: Resumen de pruebas realizadas en el rango 4

Conductividad (uS/cm)	Nivel de agua DI	Nivel de agua anolito	Modo de operación	Bomba1, EV1, EV2, UV		Baliza	
				Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
7275	Max	Max	Automatico	Si	--	Si	--
7576	Max	Max	Automatico	Si	--	Si	--
8000	Max	Max	Automatico	Si	--	Si	--

Realizado por: Toapanta Caterine

4.1.3 Análisis de muestras del sistema manual y automatizado

Después del análisis con los casos de rangos, y basados en la reacción de sensor de conductividad enviado al sistema de Agua DI visible en la pantalla HMI, se llega los dos siguientes aspectos con sus Ilustraciones.

- Sistema manual

En la Ilustración 13-4 se muestran los datos obtenidos por el operario durante un día de trabajo en la planta de pintura, se puede distinguir una notable diferencia entre el periodo en el que el operario acude a medir la conductividad y el tiempo que tarda en encender la bomba, puede darse casos que el operario se encuentre fuera del área por alguna razón y esto represente un problema para el proceso normal, influyendo en el tiempo laboral del operario.

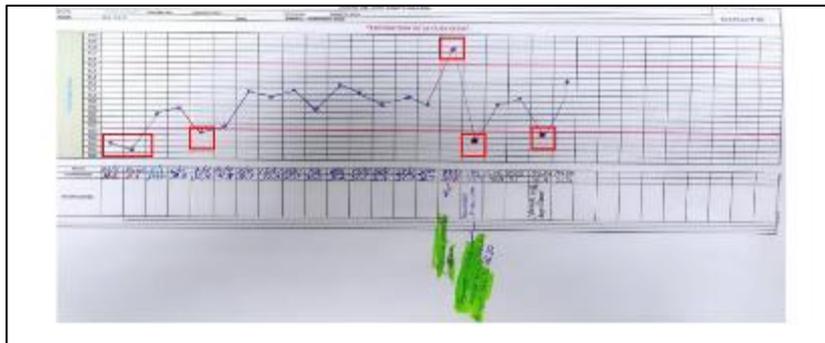


Ilustración 13-4: Hoja de control de conductividad Ciauto

Realizado por: Caterine Toapanta

Las muestras tomadas manualmente dentro del horario laboral por los operadores, que por experiencia tienen un control de conductividad de cada 30 minutos, se muestran en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Muestras tomadas manualmente en horario laboral por el operador

	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00
Rango 1: 0 - 2000 uS/cm	1	1			1										1			1	
Rango 2: 2000 - 4000 uS/cm			1	1		1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		1
Rango 3: 4000 - 7000 uS/cm														1					

Realizado por: Toapanta Caterine

A partir de la Tabla 5-4 se tiene un total de 5 muestras dentro del rango 1, 15 dentro del rango 2 y 1 en el rango 3, un total de 21 muestras que puede ser tomadas de 8am a 5pm lo que corresponde al horario laboral de Ciauto. Teniendo un 71% de muestras dentro del rango ideal y controlando el 29% de muestras fuera de él.

- Sistema automatizado

En la Ilustración 14-4 se aprecia la gráfica de la tendencia de la conductividad que podrían corresponder a todo un día de producción. La implementación del prototipo sería realmente favorable, por la estabilidad que se observa para un tiempo corto y mucho más para un día completo, haciendo el análisis de la tendencia entre el que se obtuvo en el HMI con el sistema automatizado y la adquisición de datos manuales del operador.

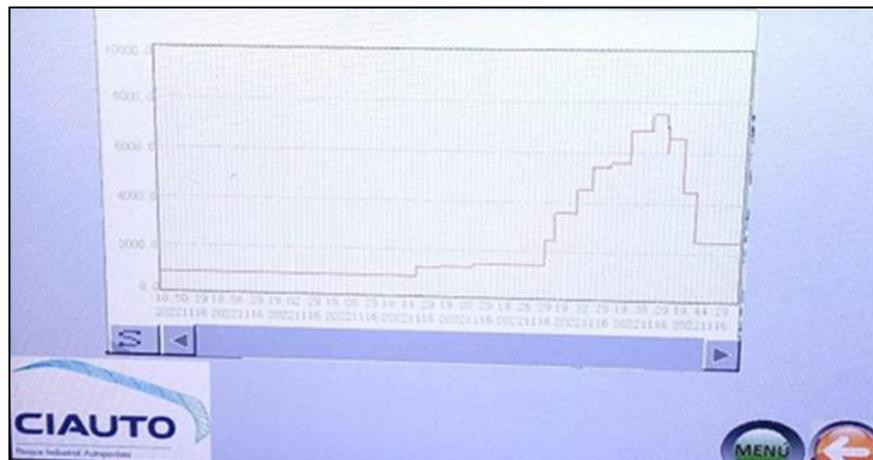


Ilustración 14-4: Tendencia de la conductividad

Realizado por: Caterine Toapanta

Las muestras tomadas automáticamente por el sistema implementado son cada minuto en un rango de 10 minutos, que se puede considerar constante en un día de trabajo, se muestran en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Muestras tomadas automáticamente por el prototipo.

	Rango 1: 0 - 2000 uS/cm	Rango 2: 2000 - 4000 uS/cm	Rango 3: 4000 - 7000 uS/cm
1	1		
2		1	
3		1	
4		1	
5		1	
6		1	
7		1	
8			1
9		1	
10		1	

Realizado por: Toapanta Caterine

A partir de la Tabla 6-4 se tiene un total de 1 muestra dentro del rango 1, 8 dentro del rango 2 y 1 en el rango 3, un total de 10 muestras que pueden ser tomadas en un rango de 10 minutos, cada minuto, lo que se puede visualizar en la pantalla HMI de tendencia de conductividad. Teniendo un 80% de muestras dentro del rango ideal y controlando el 10% de muestras fuera de él.

4.1.4 Beneficios del sistema automatizado

El sistema automatizado en relación con el sistema manual presenta los siguientes beneficios:

- El primer beneficio que se observa es que el sistema automatizado que se ha diseñado no contempla ninguna medición por parte del operador, más bien lo reemplaza utilizando mediciones programadas que desencadenan acciones sobre el sistema, esto hace que el error humano desaparezca.
- El segundo beneficio es la eficiencia de tiempos de respuesta, ya que el sistema automatizado actúa conforme las variaciones de los sensores de inmediato, caso contrario del sistema manual que dependía directamente de la intención del operador, sin intervalos de mediciones homogéneos, ocasionando desfases en la toma de muestras, y generando un informe sin exactitud. Como es el caso real de toma de muestras del apartado 4.3.1. donde el operador se demoraba 3 minutos en promedio en medir la conductividad y accionar el sistema, mientras que el sistema automatizado de inmediato ejecutaba acciones para regular la conductividad.
- El tercer beneficio se relaciona con el sistema automatizado reduciendo las fluctuaciones de la variable conductividad, ya que, al presentar una programación, las medidas son

monitoreadas constantemente, y ante alguna alteración es controlada de inmediato, manteniendo el tanque de agua de anolito con una conductividad estable.

4.2 Análisis de costos

En este trabajo se realiza la evaluación económica con la finalidad de conocer el beneficio/costo al automatizar el sistema de control dentro de la planta mediante el prototipo, ya que al tener un sistema automatizado se reducen los costos de operación y las horas-hombre de cada operario al momento de la activación o puesta en marcha.

En la Tabla 7-4 se muestra un estudio de costos de los componentes que se propone adquirir para garantizar el cumplimiento de la implementación del sistema automatizado conforme a los requerimientos establecidos para el control de nivel de anolitos en la planta de pintura de Ciauto.

Tabla 7-4: Tabla de costos

CANT	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V.TOTAL
Elementos de protección y alimentación			
1	Fuente de poder 220 VCA/24 VCD 1A	120,00	120,00
4	Guardamotor 220v 3f 1 y 3 HP	64,70	257,57
1	Termomagnético 2f 10 ^a	66,25	66,25
6	Relé térmico, supervisor y auxiliar	44,48	267,33
3	Bornera portafusible para riel din + fusibles	2,00	6,00
Elementos de monitorización			
1	HMI siemens ktp700 basic	874,17	814,17
Elementos de control			
1	Módulo entradas digitales / salidas relé siemens	253,73	253,73
1	Módulo de entradas analógicas siemens	133,00	133,00
1	Módulo de comunicación rs485 siemens	120,62	120,62
1	PLC siemens s7-1200 ac/dc/relé	775,00	775,00
4	Transmisor de nivel 0 a 4 m de rango	33,83	135,32
1	Transmisor de nivel 0 a 1 m de rango	45,20	45,20
Elementos de control y señalización			
2	Selector de 2 posiciones	5,60	11,20
10	Pulsador NA verde y rojo	1,88	18,80
9	Luz piloto verde, roja, amarilla 220 VCA	4,63	41,67
1	Pulsador p/emergencia 22mm	2,58	2,58
Elementos para la estructura física			
2	Canaleta ranurada 50x50	9,35	18,70
4	Riel din 1 m 35mm metálica	2,35	9,40
1	Tablero metálico 60 x 40 x 20 cm	68,13	68,13
20	Prensa estopa pg.21	0,84	16,80

5	Amarra plast.bl.50 cm (100u)	15,59	77,95
18	Bandeja portacable tipo ducto (50x100x2400) + tapa	22,49	404,82
2	T-100 unión t en acero tipo 2 + tapa 0,9 mm	12,55	25,10
4	Av-100 curva articulada vertical en acero + tapa	15,47	61,88
Materiales eléctricos			
200	Bornera cage clamp + tapas	250,00	250,00
10	Puente equipotencial 2.5/6mm	3,37	33,70
8	Tope final de bornera	0,60	4,80
1	Terminal tipo puntera, doble y U 14 y 16 AWG	48,38	48,38
1	Conductores	300,00	300,00
	Costo de ingeniería		500,00
		Subtotal	\$4.888,54
		± 10%	\$488,85
		TOTAL	\$5.377,40

Realizado por: Caterine Toapanta

4.2.1 *Perdidas por cortes de energía y paralización de la producción*

Cuando se suscite un corte de energía eléctrica o cuando haya un paro total en la producción el sistema de control DI actual, se tienen las siguientes pérdidas en la producción que representan grandes gastos económicos:

- Los 56 sellos de las membranas pueden averiarse, causando pérdidas económicas con un valor aproximado de \$6.000 por cada sello que sea afectado. Para un caso real se averían por lo menos la mitad.
- Una vez causado el daño, obligatoriamente la producción deberá paralizar sus actividades provocando pérdidas aproximadas de \$20.000 por cada 15 minutos, de acuerdo a la información brindada por la empresa. Teniendo aproximadamente un tiempo de reparación de una hora.
- Costo que debe cubrir la empresa a los operadores y técnicos que brinden reparación al sistema, aproximadamente de 500 dólares.

Es decir, cuando se produce un corte eléctrico o un paro de producción no planeado el costo de reparación de daños asciende a 248,500 dólares aproximadamente.

4.2.2 *Perdidas por Error humano*

Cuando el nivel de conductividad no sea el adecuado y por alguna distracción del operario no mida la conductividad en el sistema de control DI actual que resulte en que no pare el sistema de forma manual, se producen los mismos daños que cuando hay un paro de producción. Pero se debe analizar además que hay un valor mensual que cubre la empresa a dicho operador.

- El operador encargado de medir la conductividad se beneficia de un sueldo básico correspondiente a 450 dólares, valor que cuando haya una falla resulta en otra pérdida económica para la empresa. Para el análisis se empleará el sueldo anual del operador siendo de 5400 dólares.

4.2.3 *Análisis de Perdidas*

Entonces en vista de tales perdidas es muy beneficiosa la propuesta de implementación planteada. Al comparar los costos de inversión y operación con todos los beneficios generados por el proyecto, se determina que es conveniente la implementación desde el punto de vista económico y laboral. Por tanto, en la Tabla 8-4 se compara el costo de inversión vs las pérdidas económicas en dos casos, uno por paralización de producción y el otro por error humano.

Tabla 8-4: Análisis de perdidas

	Avería de 28 Sellos de membranas	Paralización de producción	Remuneración del personal humano	Valor total de perdida
Pérdidas por cortes de energía y paralización de producción	\$ 168.000,00	\$ 80.000,00	\$ 500.00	\$248.500,00
Pérdidas por error humano	\$ 168.000,00	\$ 80.000,00	\$ 5.900.00	\$ 253.900,00

Realizado por: Caterine Toapanta

4.2.4 *Análisis de recuperación de la inversión*

El precio del prototipo es de \$5377,40 a este valor se añade el ahorro anual que se tiene al no pagar el salario al operador encargado de controlar y medir la conductividad, además de reducir el error humano que se produce cuando no se mide directamente con un sensor calibrado.

- A través de un análisis, con solo costear el prototipo se recuperaría la inversión en 1 año de lo que se tiene al no costear un salario básico anual a un operador designado para la medición de conductividad. Esto sin tomar en cuenta los posibles gastos de una paralización de producción.

4.2.5 Análisis Costo /Beneficio

A continuación, en la Ilustración 15-4 se muestran dos graficas en las que se comparan los valores económicos, al implementar el prototipo en la empresa, analizando los dos escenarios que se pueden dar, el primero por corte de electricidad o paralización de producción y el otro por un error humano.

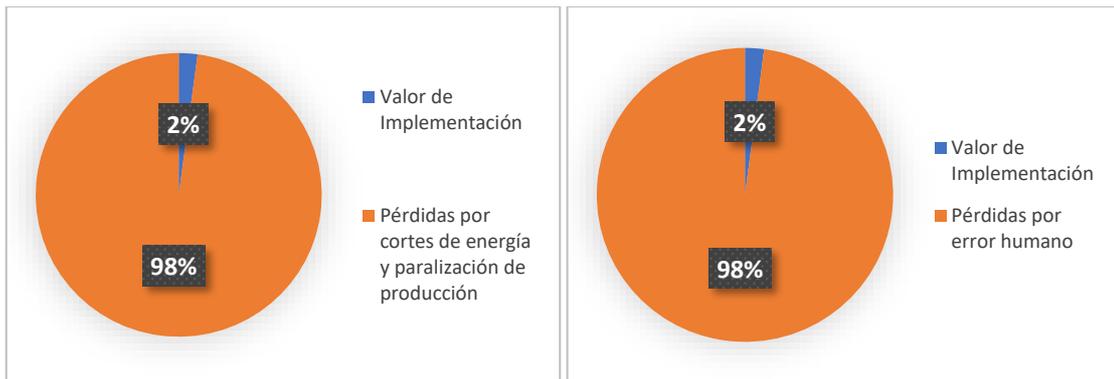


Ilustración 15-4: Comparación costos de prototipo y perdidas

Realizado por: Caterine Toapanta

Como se muestra en la Ilustración 15-4, el costo del prototipo propuesto para la automatización de los sistemas de anolito, DI y blanda en la planta de pintura de Ciauto representa un 2% del costo realizado para la automatización en el caso de que hubiera un corte de energía o paralización de producción al igual que cuando haya un error humano, lo cual representaría un gasto único garantizado en relación a las pérdidas que se generarían en los dos escenarios negativos. Por tanto, la implementación de este prototipo representa un beneficio económico del 98% logrando satisfacer las necesidades de control de nivel de anolitos en el subproceso de e-coat.

CONCLUSIONES

- Los componentes de *hardware* que se utilizaron en el tablero se basaron en las características de protección IP y comunicación RS- 485. Para ello, se eligió como principales elementos en la etapa de procesamiento un PLC, capaz de programar hasta 138 bloques de funcionales que se considera suficientes para la presente aplicación. Para la etapa de control y visualización se consideró como mejor opción una HMI LEVI2070D de WECON en función de su tamaño y resolución y por la conexión serial que sintetiza la configuración. Adicional el sistema cuenta con un dispositivo de protección eléctrica que evite daños por corto circuito o sobrecargas, con un grado de protección hermética IP 65.
- El sistema de control automatizado fue programado utilizando el HMI para reducir costos de implementación al mismo tiempo que se obtiene un manejo sencillo e interactivo entre la pantalla y el operario.
- Se obtuvieron los siguientes resultados, iniciando con una inmediata respuesta de 1 milisegundos del sistema automatizado frente a los 6 minutos que le toman a operador medir la conductividad y accionar el sistema, el siguiente resultado es la reducción de las fluctuaciones de la variable conductividad manteniendo el tanque de agua de anolito con una conductividad estable, y el ultimo reducción del error humano considerando solo la implementación del sistema automatizado para todo el proceso dentro de la empresa Ciauto.
- Se concluye que la inversión del sistema automatizado con un valor de \$5377,40 puede ser recuperado en un año, reemplazando el salario anual del operador con la implementación del sistema. A partir del estudio de perdidas por corte de energía o paralización de la producción y perdidas por error humano, se concluye que implementar el sistema automatizado reduciría en un 98% los gastos que provocarían estos dos escenarios negativos en la empresa.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un prototipo automatizado con inteligencia artificial que mejorará significativamente la eficiencia operativa en la planta de pintura de Ciauto Cía. Ltda. Esto se reflejará en una reducción de costos, tiempos de procesamiento más cortos y una gestión más precisa de los niveles de anolitos en el proceso de pintura.
- La tesis ha demostrado la viabilidad de la implementación en la planta de pintura de Ciauto Cía. Ltda. Por lo que, se recomienda considerar la escalabilidad de esta tecnología para su aplicación en otros procesos de la planta, lo que podría traer beneficios adicionales en términos de automatización y eficiencia.
- Se recomienda continuar invirtiendo en investigación y desarrollo en el campo de la inteligencia artificial para mejorar aún más la eficiencia y precisión del control de los niveles de anolitos. Esto podría incluir la exploración de algoritmos más avanzados y la implementación de sistemas de aprendizaje automático.
- Es esencial capacitar al personal en el uso y mantenimiento del sistema, esto garantizará que el personal pueda aprovechar al máximo la tecnología y realizar tareas de supervisión y resolución de problemas de manera efectiva.

BIBLIOGRAFIA

ABB (ASEA BROWN BOVERI). *Catálogo de control y protección de motores contactores, relés de sobrecarga y guardamotores.* [En línea]. 2016. Disponible en: https://library.e.abb.com/public/e8f17cc8e192427492c51d0941119b84/1SBC100183C0701_Control_y_proteccion%20_de_motores.pdf

ACQUA TECNOLOGIA. *Agua desionizada.* Ingeniería en Tratamiento de Agua y Procesos [blog]. Disponible en: <http://acquatecnologiaperu.com/landing-agua-desionizada>

AGUILERA MARTINEZ, Patricia. Programación de PLC's [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Carrera de Ciencias de la Ingeniería de Manufactura, Especialidad en Automatización, San Nicolás de los Garza, N. L., México. 2002. pp. 65-75. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF>

AMES ZEGARRA, Carolina. Normativa para el diseño de interfaces gráficas de sistemas de automatización industrial. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Lima, Perú. 2015. pp. 20-22. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2423/ING-L_007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AQUAINTEGRAL. *VH410 Sistema UV 18 GPM VIQUA.* Aquaintegral. [en línea] Disponible en: <https://aquaintegral.co/producto/vh410-sistema-uv-18-gpm-viqua/>

AROWOLO, Matthew Oluwole; ADEKUNLE, Adefemi Adeyemi; & Opeyemi, Martins Oluwaseun. "Design and Implementation of a PLC Trainer Workstation" *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* [En línea], 2020, (United State of America) 5 (4), 755-756. ISSN 2415-6698. Disponible en: [doi:10.25046/AJ050489](https://www.astesj.com/publications/ASTESJ_050489.pdf)
https://www.astesj.com/publications/ASTESJ_050489.pdf

ASOCIE PERU. *Sensores de nivel ultrasónico VEGA.* [en línea]. Instrumentos y Sensores. 2020. Disponible en: <https://asocieperu.com/producto/sensor-de-nivel-ultrasonico-vega/>

AUTOMATION24. *HMI operating panels.* [en línea]. 2021. Disponible en: <https://www.automation24.biz/simatic-basic-panel-siemens-ktp700-basic-pn-6av2123-2gb03-0ax0>

BCB INFRARROJOS Y ULTRAVIOLETAS. *Lámparas UV.* [En línea]. España, 2019. Disponible en: <https://www.bcbsl.com/lamparas-ir-y-uv/lamparas-de-curado-uv/>

BOMBAS IDEAL. *Datos Técnicos de Hidráulica Bombas.* [En línea]. Valencia-España: Oficina de Ingeniería, 2016. Disponible en: <https://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/2022/03/HIDRAULICA-NEWSLETTER-10.pdf>

CÁRDENAS GUARACA, Christian Paúl. Diseño y construcción de un prototipo para minimizar el desperdicio de agua en tuberías de agua caliente. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Electrónica, Cuenca, Ecuador. 2018. pp. 11.12. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16259/1/UPS-CT007907.pdf>

CARRILLO BEUNZA, Pablo & SAIRE CHANI, Rafael. Mejora de la gestión de mantenimiento de tableros de control eléctrico y su influencia en la confiabilidad del área de servicios de una empresa minera [En línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial, Cajamarca, Perú. 2020. pp. 47. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28148/Tesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

CHILUISA CHILUISA, Cristian Esteban. Implementación de un sistema automatizado con control HMI-SCADA para el proceso de enbotellamiento de líquidos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 165. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13936/1/108T0325.pdf>

CONDUCTORES ELÉCTRICOS. *Electricidad.* [En línea]. Disponible en: <http://aprendeelectricidad.weebly.com/conductores-eleacutectricos.html>

COROMINAS, A., & COMPANYYS, R. *Automatismos eléctricos programables.* [En línea] Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona-España: Ediciones UPC. pp. 33-35. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36355/9788498800203.pdf>

DESIN INSTRUMENTS. *Sonda de nivel sumergida para medios corrosivos TNS-207.* [en línea]. Disponible en: <https://axiomatic.es/wp-content/uploads/2022/04/HT-DI-TNS207-es-140306.pdf>

DORIA, Serena. *Presostatos mecánicos y electrónicos – funcionamiento y aplicaciones.* [en línea] Blog De WIKA. Disponible en: https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-presostato/?doing_wp_cron=1673891189.5570249557495117187500

ELECTRICASAS. *Interruptores-Llaves-Contactores.* [En línea]. Disponible en: <https://www.electricasas.com/interruptores-llaves/contactores/>

GRUPO MEJORAS. *Sensores de Conductividad Inductiva Sensor ECS40.* [en línea]. Barcelona-España. Disponible en: <https://calidad.mejoras-energeticas.com/producto/sensores-de-conductividad-inductiva-ecs40/>

GUTIERREZ JÁCOME, Darío Alejandro. Implementación de un sistema de gestión y mantenimiento programado de equipos tecnológicos e industriales, aplicando la metodología Scrum. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 2016. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2045>

HIDRÁULICA Y NEUMÁTICA S.A. *Válvulas de accionamiento neumático.* [En línea]. Medellín-Colombia. 2019. Disponible en: <http://www.hnsa.com.co/valvula-de-accionamiento-neumatico/>

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. *¿Qué es una bomba de agua?* [en línea]. España. Disponible en: https://www.igme.es/ZonaInfantil/MateDivul/guia_didactica/pdf_carteles/cartel4/CARTEL%204_4-4.pdf

JUNTA DE ANDALUCIA. *Presostatos.* [en línea]. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/file.php/78/2_Curso/0041_Montaje_mantenimiento_instalaciones_frigorificas_industriales/Capitulo_III/Funcionamiento_y_Reglaje_de_los_preostatos.pdf

KINETICO WATER SYSTEMS. *¿Qué es el agua blanda?* [en línea]. Disponible en: <http://www.kinetico.es/conozca-su-agua/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-agua-blanda>

LALVAY REMACHE, Elsa Gabriela. Diseño y construcción de una Interfaz Hombre Maquina para el monitoreo y supervisión del sobrellenado del tanque V4H de la empresa Interquimec. [en línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, Carrera de Electromecánica, Quito, Ecuador. 2021. pp. 12-13. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/bitstream/123456789/127/1/43.1500%20-%20LALVAY%20REMACHE%20ELSA%20GABRIELA.pdf>

METTLER TOLEDO. *Analizadores de conductividad.* [en línea]. México. 2019. Disponible en: <https://www.mt.com/mx/es/home/products/Process-Analytics/conductivity-sensor/conductivity-meter-inductive.html>

MOTORES ELÉCTRICOS. [en línea] 2020. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

NAVA HERNANDEZ, Diego Uriel. Electrodeposición y caracterización de recubrimiento de Ni-P. [en línea] (Tesis). (Maestría) Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Carrera de Electroquímica, Queretaro, México. 2013. pp. 58. Disponible en: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/291/1/Electrodeposici%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20derecubrimientos%20de%20Ni-P.pdf>

NOBOA RIVERA, J. (2022). Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13146>

OMEGA. (2020). *Sensor de nivel.* Recuperado el 18 de octubre de 2020, de speciris company: <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>

PAC. *Controladores Lógicos Programables.* [En línea] 2017. Disponible en: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

PONSA ASENSIO, Pere; & VILANOVA ARBÓS, Ramón. *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA.* [En línea] Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona-España: Ediciones UPC. Disponible en: https://www.e-buc.com/portades/9788498800227_L33_23.pdf

PORTILLA, F. & CARAGUAY, R. Diseño y construcción de un sistema de medición y adquisición de datos para un equipo de ensayos de tensión [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias

de la Producción, Escuela de Mecanica, Guayaquil, Ecuador. 2018. pp. 27. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/46982/1/D-CD88719.pdf>

Quispe, L. (2017). AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS. En R. Y. AUTOMÁTICA.

Ribas, J. (2020). Lógica cableada y lógica programada. *Blog Disseny Producte*. Obtenido de <https://dissenyproducte.blogspot.com/2010/12/logica-cableada-y-logica-programada.html>

Rodriguez Penin, A. (2001). *Sistema SCADA* (3° ed.). Barcelona. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cNQfjBcUq8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Sistemas+Scada&ots=4HLSOGPMQy&sig=LK67XyUFXa11yk7F2-OHu2ENLck#v=onepage&q=Sistemas%20Scada&f=false>

RODRÍGUEZ DE ÁVILA, Jesús Enrique. Buenas prácticas para diseño de HMI de alto rendimiento [en línea] Universidad Tecnológica de Bolívar, Departamento De Ingeniería Electronica, Cartagena, Colombia. 2012. pp. 18-19. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/536/0063148.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=18&zoom=100,109,177>

SIEMENS. (2021). *Hoja de datos*. Obtenido de SIEMENS: <https://docs.rs-online.com/2aee/0900766b813973fd.pdf>

SUAREZ, Doris Sanabria. Conductividad Electrica por el Método Electrométrico en Aguas. [En línea] (Práctica de Laboratorio). Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, Subdirección de Hidrología Grupo-Laboratorio de Calidad Ambiental, Colombia. 2015. pp. 2, 5-6. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

TAMESON. *Interruptores flotadores*. [en línea]. Disponible en: <https://tameson.es/collections/interruptores-flotantes>

VALLEJO, H. (2021). PLC - LOS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES. *Saber electrónica*, 11. Obtenido de <http://todopic.com.ar/utiles/plc.pdf>

VEGACAL 62. *Sensor de nivel capacitivo*. VEGA Grieshaber KG DirectIndustry [en línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/vega-grieshaber-kg/product-9136-34186.html>

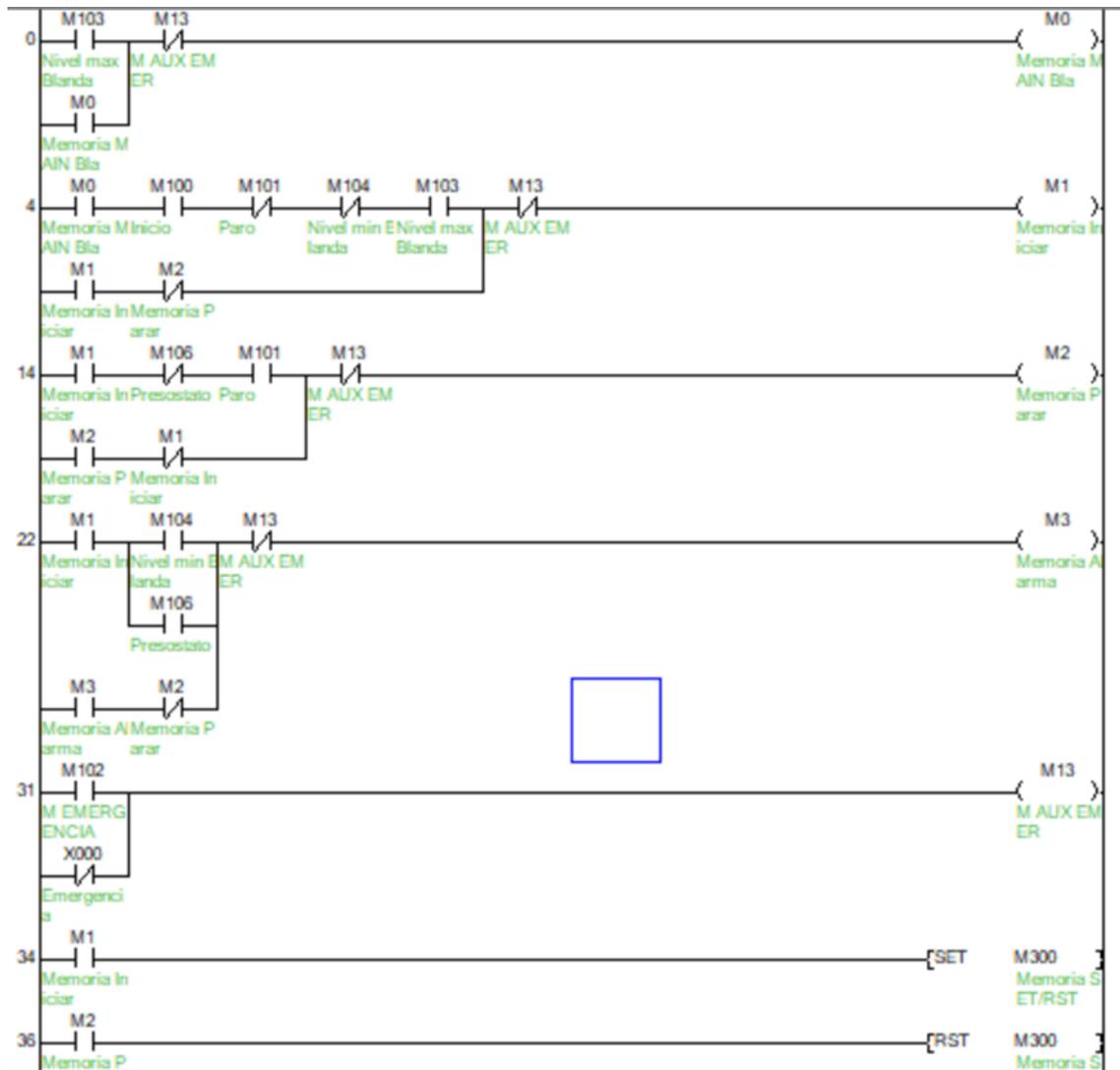
Weaver, B. (07 de 12 de 2021). *Un enfoque holístico en las operaciones de enjuague final del proceso E-Coat*. Obtenido de Products Finishing México: <https://www.pf-mex.com/articulos/un-enfoque-holistico-en-las-operaciones-de-enjuague-final-del-proceso-e-coat>

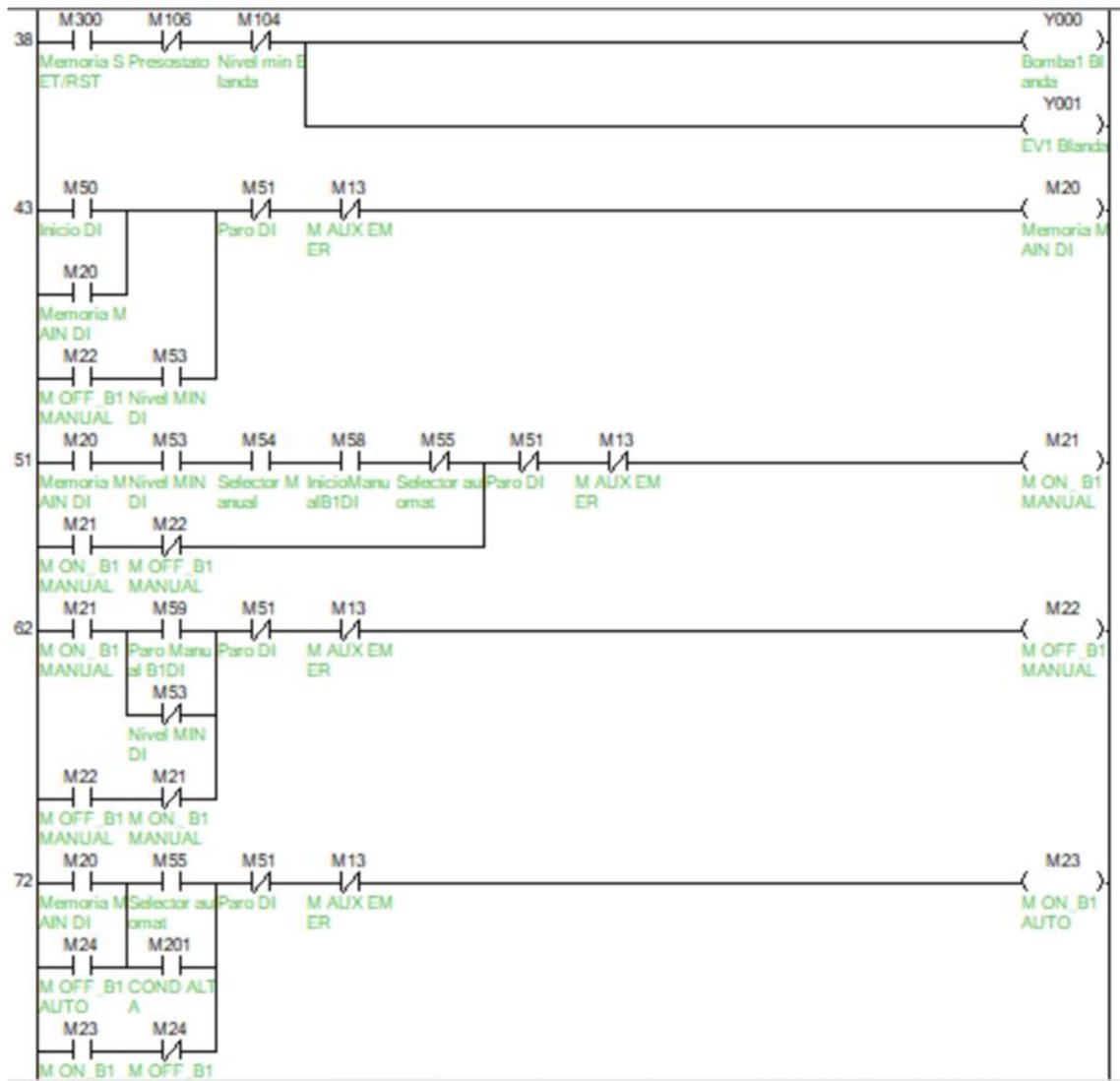
YAO, Ying. "PLC Controller in Electric Control System" *Journal of Electrotechnology, Electrical Engineering and Management* [En línea], 2022, (Cánada) 5 (2), ISSN 2560-6697
Disponible en:
https://clausiuspress.com/assets/default/article/2022/09/18/article_1663499854.pdf

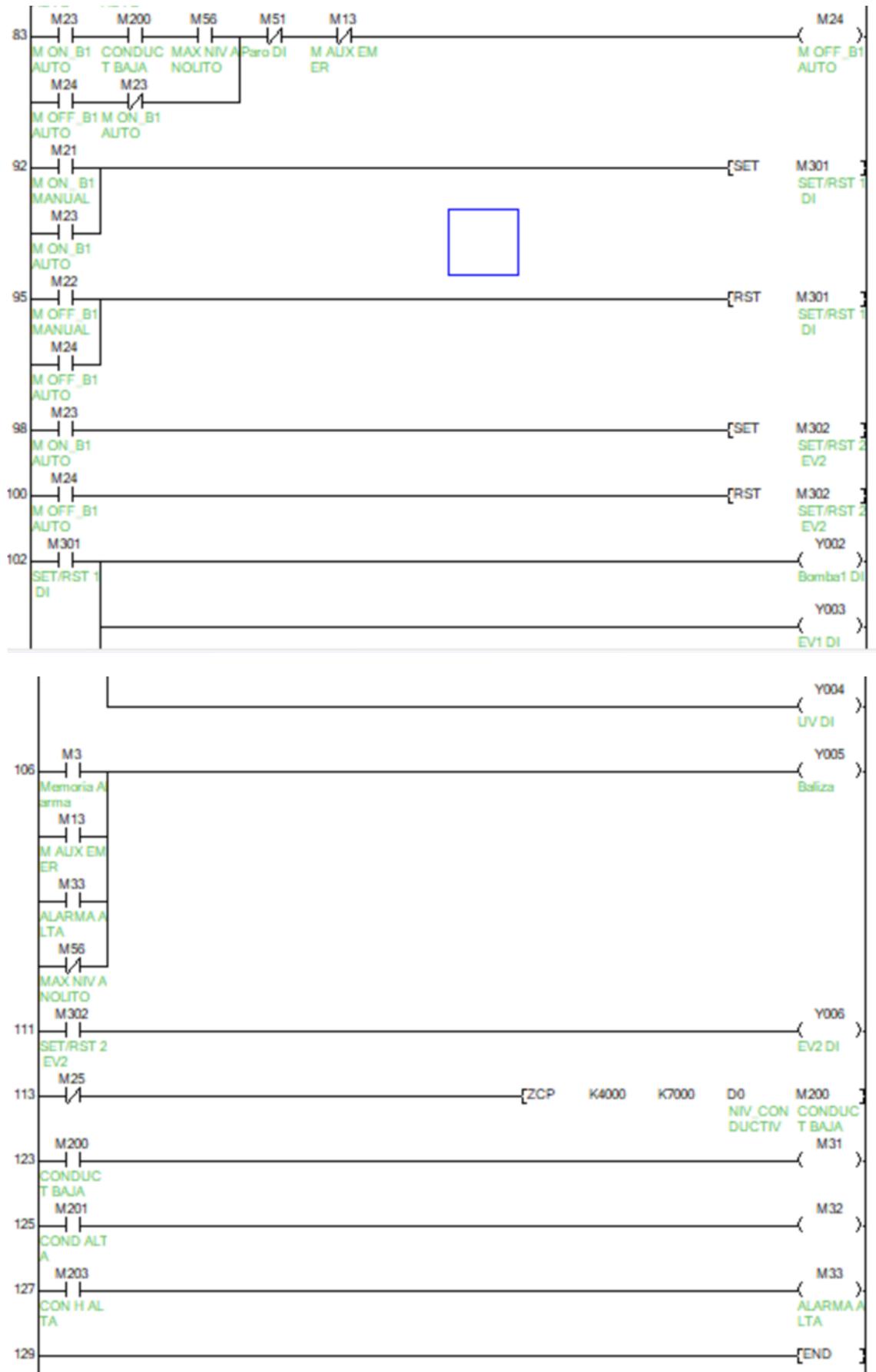
Zhang, P. *Sensors and Actuators for Industrial Control*. Recuperado el 16 de octubre de 2020, de *Industrial Control Technology*: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solenoid-valve>

ANEXOS

ANEXO A: Programación Ladder







SONDA DE NIVEL SUMERGIDA PARA MEDIOS CORROSIVOS

TNS-207

La sonda sumergible TNS-207 ha sido desarrollada para mediciones de nivel en aplicaciones para la industria del agua.

Sonda de nivel en PVC con sensor de cerámica para la medición continua de nivel en aguas de todo tipo. El sensor de cerámica está protegido por una protector extraíble que permite la limpieza de los sólidos acumulados en el interior.

Se suministran con diferentes materiales de cubiertas de cable con el fin de lograr la máxima compatibilidad con el medio a medir.

- Diámetro 35 mm
- Diafragma del sensor de cerámica Alúmina 96 %
- Rangos desde 0 ... 4 mH₂O hasta 0 ... 100 mH₂O
- Precisión 0.5% FSO (acc / IEC60770)
- Salida de señal 4-20 mA a 2 hilos
- Alta estabilidad a largo plazo
- Material de cuerpo de PVC gris
- Medición del nivel en medios compatibles con PVC
- Permite medir en aguas potables, aguas residuales, etc.



CE

IP68

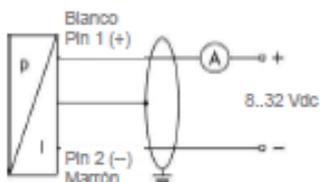
Ø 35 mm

4-20 mA 2 hilos

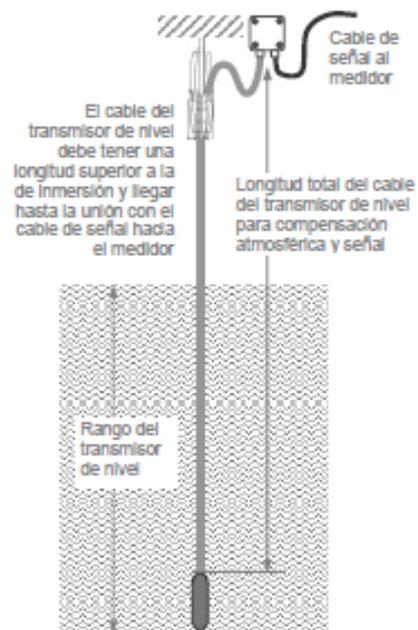
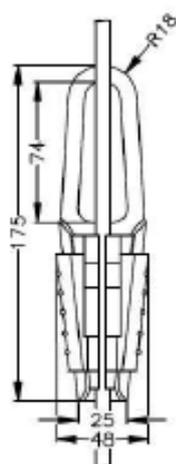
RANGOS DE PRESIÓN									
Presión Nominal	bar	0.4	0.6	1	1.6	2.5	4	6	10
Nivel	mH ₂ O	4	6	10	16	25	40	60	100
Presión de rotura	bar	1	2	2	4	4	10	10	20
CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS									
Exactitud	± 0.5 % FSO Includiendo alinealidad, histéresis y repetibilidad s/ IEC 60770								
Estabilidad a largo tiempo	± 0.1% FSO / año								
Error térmico	± 0.2 % FSO / 10 K en un margen de compensación de -25...70 °C								
Influencia de la alimentación y de la carga	0.05 % FSO / 10V (alm.) y 0.05 % FSO / kΩ (carga)								
Tiempo de respuesta	< 10 mseg								
Temperaturas máximas	medio	0...50 °C							
	ambiente	-10...50 °C							
	almacén	-10...50 °C							
CARACTERÍSTICAS GENERALES									
Cuerpo / Toma de presión	PVC gris								
Diafragma del sensor	Cerámica Alúmina AL ₂ O ₃ 96 %								
Juntas sellantes	FKM (IP68) / EPDM / FFKM								
Cubierta del cable de Inmersión (con pantalla y tubo de compensación atmosférica)	PVC (0 °C a 50 °C) color Gris								
	PUR (0 °C a 50 °C) color Negro								
	FEP (0 °C a 50 °C) color Negro								
Salida de señal	4-20 mA a 2 hilos								
Alimentación	8...32 Vdc autoalimentado por la línea de 4-20 mA								
Características eléctricas cable	Capacidad 160 pF/m e Inductancia 1 uH/m (entre las dos Líneas de señal y Pantalla)								
Compatibilidad Electromag.	Emisión e Inmunidad s/ EN 61326								
Conformidad CE	Directiva EMC: 2004/108/EC s/ 97/23/EC para equipos de presión								
Posición de montaje	Cualquiera (calibración realizada en vertical con sensor abajo)								
Vibración	4 G rms (25...2000 Hz) s/ IEC 60068-2-6								
Choques	100 G / 1 mseg s/ IEC 60068-2-27								
Peso	Desde 200 g mín. (sin cable) + peso del cable (consultar)								

SONDA DE NIVEL SUMERGIDA PARA MEDIOS AGRESIVOS TNS-207
CONEXIÓN ELECTRICA

Salida eléctrica	2 conductores + conductor de apantallamiento y tubo de compensación atmosférica
Conexión	Alimentación (+) Blanco y (-) Marrón, Pantalla Verde/Amarillo
Protecciones	Cortocircuito permanente – Inversión de polaridad permanente (no funciona)

CONEXIONADO

DIMENSIONES

Al hacer el pedido indicar el tipo y la longitud del cable del transmisor de nivel: TNS-.../ Rango / Tipo / Long. de Cable TNS-207/6/PVC/10 (Rango 6 m con 10 m de cable PVC)


MORDAZA PARA MONTAJE

Adecuado para colgar sondas	sumergibles con cable desde Ø 5,5 mm a Ø 10,5 mm
Material	Estándar: acero zincado (Opcional: acero inoxidable)
Peso	160 g. approx.

ANEXO C: Lista de materiales propuesta para la implementación

MATERIALES Y EQUIPOS PARA SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE CONTROL DE NIVELES ANOLITO			
ITEM	CANTIDAD	U/m	DESCRIPCION
1	4	U	TRANSMISOR DE NIVEL POR PRESIÓN HIDROSTÁTICA HASTA DE 0 A 4 METROS DE RANGO, CON SALIDA DE COMUNICACIÓN RS485 MODBUS RTU
2	1	U	TRANSMISOR DE NIVEL POR PRESIÓN HIDROSTÁTICA HASTA DE 0 A 1 METROS DE RANGO, CON SALIDA DE 4...20mA
3	1	U	TRANSMISOR DE CONDUCTIVIDAD DE 2000 A 4000 uS, CON SALIDA DE 4...20mA con display local y comunicación RS485
4	40	m	CABLE PARA RED RS485 PAR TRENZADO CON APANTALLAMIENTO
5	50	m	CABLE MULTIPAR PARA INSTRUMENTACIÓN #16AWG x 2 PARES TRENZADOS CON APANTALLAMIENTO
6	100	m	CABLE MULTIPAR #14AWG x 2 CONDUCTORES + TIERRA CON APANTALLAMIENTO
7	100	m	CABLE #16AWG FLEXIBLE PARA CONEXIONES DE TABLERO DE CONTROL
8	50	m	CABLE #14AWG COLOR VERDE/AMARILLO PARA CONEXIONES PUESTA A TIERRA
9	3	U	VARILLA PARA PUESTA A TIERRA + CONECTOR + TRATAMIENTO PARA PUESTA A TIERRA (SON 3 PUESTA A TIERRA PARA: INSTRUMENTACIÓN TANQUE ANOLITO, INSTRUMENTACIÓN TANQUES DI, INSTRUMENTACIÓN TABLERO DE CONTROL
10	5	U	CAJA DE PASO PARA CONEXIONES LOCALES INSTRUMENTACIÓN TANQUES Y RED RS485, DE 20x20x20 cm
11	1	U	ACCESORIOS VARIOS PARA MONTAJE DE CAJAS DE PASO Y TRANSMISORES DE NIVEL Y CONDUCTIVIDAD: TORNILLOS, PLATINAS, SUELDA, BRAZOS METÁLICOS
12	100	U	TERMINAL FERRULE PARA CABLE #14AWG
13	1	U	PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly MODELO 6ES7 214-1BG40-0XB0
14	1	U	MÓDULO ENTRADAS DIGITALES / SALIDAS RELÉ SIEMENS MODELO 6ES7 223-1PH32-0XB0
15	1	U	MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS SM 1231 AI 4 x 13 bit SIEMENS MODELO 6ES7 231-4HD30-0XB0
16	1	U	MÓDULO DE COMUNICACIÓN RS485 SIEMENS PARA PLC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly MODELO 6ES7 241-1CH30-1XB0
17	1	U	HMI SIEMENS KTP700 BASIC PN CON PUERTO PROFINET
18	2	U	SELECTOR DE 2 POSICIONES PARA SELECCIÓN OPERACIÓN MANUAL/AUTO SISTEMA DI Y AGUA BLANDA
19	5	U	PULSADOR NA VERDE PARA ARRANQUE SISTEMAS DI, AGUA BLANDA, BOMBA CUBAS
20	5	U	PULSADOR NA ROJO PARA PARO SISTEMAS DI, AGUA BLANDA, BOMBA CUBAS
21	3	U	LUZ PILOTO VERDE 220VCA SEÑALIZACION ENCENDIDO SISTEMAS DI Y AGUA BLANDA
22	3	U	LUZ PILOTO ROJO 220VCA SEÑALIZACION ENCENDIDO SISTEMAS DI Y AGUA BLANDA
23	3	U	LUZ PILOTO AMARILLA 220VCA SEÑALIZACION ALARMA SISTEMAS DI Y AGUA BLANDA
24	3	U	CONTACTOR TRIFÁSICO BOBINA 220VCA, 3HP, PARA BOMBA B1 DI, B1 Y B2 AGUA BLANDA
25	3	U	RELÉ TÉRMICO PARA CONTACTOR TRIFÁSICO 220V, 3HP, PARA BOMBA B1 DI, B1 Y B2 AGUA BLANDA
26	1	U	CONTACTOR TRIFÁSICO BOBINA 220VCA, 1HP, PARA BOMBA B2 CUBAS
27	1	U	RELÉ TÉRMICO PARA CONTACTOR TRIFÁSICO 220V, 1HP, PARA BOMBA B2 CUBAS
28	1	U	RELÉ SUPERVISOR DE VOLTAJE TRIFÁSICO CON CONTACTO NA PARA SEÑALIZACION A PLC DE PÉRDIDA DE FASE O BAJO VOLTAJE
29	12	U	RELÉ AUXILIAR, BOBINA 220VCA, CON CONTACTO NA MÍNIMO 2A, + BASE PARA RIEL DIN, PARA INTERFASE DE SALIDAS DE PLC
30	20	U	BORNERA PORTAFUSIBLE PARA RIEL DIN, PARA PROTECCIÓN DE SALIDAS DE PLC
31	20	U	FUSIBLE 1A, PARA PROTECCIÓN DE SALIDAS DE PLC
32	1	U	ELECTROVÁLVULA BOBINA 220VCA ON/OFF PARA TUBERÍA DE 3/4"
33	1	U	ELECTROVÁLVULA BOBINA 220VCA ON/OFF PARA TUBERÍA DE 3"
34	3	U	GUARDAMOTOR 220V 3F 3HP PARA BOMBAS B1 DI, B1 Y B2 AGUA BLANDA
35	1	U	GUARDAMOTOR 220V 3F 1HP PARA BOMBA B2 CUBAS
36	1	U	TERMOMAGNÉTICO 2F 10A
37	1	U	ILUMINACIÓN LED PARA TABLERO
38	1	U	SENSOR DE PUERTA PARA CONTROL DE ILUMINACION TABLERO
39	1	U	RESISTENCIA CALEFACTORA PARA TABLERO
40	1	U	TERMOSTATO PARA RESISTENCIA CALEFACTORA PARA TABLERO
41	1	U	TOMA PARA RIEL DIN PARA CONEXIÓN DE EQUIPOS DE PROGRAMACIÓN EN TABLERO
42	40	U	BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #10 - 14 AWG
43	10	U	BORNE CAGE CLAMP DE PUESTA TIERRA PARA CABLE #10 - 14AWG
44	50	U	BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #16 - 18 AWG
45	10	U	BORNE CAGE CLAMP DE PUESTA TIERRA PARA CABLE #18AWG
46	5	U	PUENTE DE 10 POLOS PARA BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #10 - 14 AWG
47	5	U	PUENTE DE 10 POLOS PARA BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #16 - 18AWG
48	4	U	TAPAS PARA BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #10 - 14AWG
49	4	U	TAPAS PARA BORNE CAGE CLAMP DE PUESTA TIERRA PARA CABLE #10 - 14 AWG
50	4	U	TAPAS PARA BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #16 - 18AWG
51	4	U	TAPAS PARA BORNE CAGE CLAMP DE PUESTA TIERRA PARA CABLE #16 - 18AWG
52	4	U	TOPE O POSTES PARA BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #10 - 14AWG
53	4	U	TOPE O POSTES PARA BORNE CAGE CLAMP DE PUESTA TIERRA PARA CABLE #16 - 18AWG
54	200	U	ETIQUETA MARQUILLADO BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #16AWG
55	200	U	ETIQUETA MARQUILLADO BORNE CAGE CLAMP PARA CABLE #14AWG
56	100	U	MANGUITO SEÑALIZACIÓN PARA CABLE #16AWG
57	50	U	MANGUITO SEÑALIZACIÓN PARA CABLE #14AWG
58	100	U	ETIQUETA PARA MANGUITO SEÑALIZACIÓN PARA CABLE #16AWG
59	50	U	ETIQUETA PARA MANGUITO SEÑALIZACIÓN PARA CABLE #14AWG
60	1	U	AISLADOR GALVÁNICO O PROTECTOR CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA RED RS485
61	2	U	AISLADOR GALVÁNICO O PROTECTOR CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA SEÑAL DE INSTRUMENTACION
62	300	U	TERMINAL FERRULE PARA CABLE #16AWG
63	100	U	TERMINAL FERRULE PARA INGRESO DE 2 CABLES #16AWG
64	300	U	TERMINAL FERRULE PARA CABLE #14AWG
65	100	U	TERMINAL FERRULE PARA INGRESO DE 2 CABLES #14AWG
66	4	M	CANAleta RANURADA DE 50 x 50 mm
67	1	U	FUENTE DE PODER 220VCA/24VCD 1A PARA HMI
68	4	M	RIEL DIN
69	1	U	TABLERO METÁLICO IP65 600X400X200 MM
70	1	U	MARQUILLAS PARA CABLES Y BORNERAS, PERNOS, TORNILLOS, ETC.
71	20	U	PRENSA ESTOPA PARA INGRESO DE CABLEADO HACIA TABLERO CONTROL Y CAJAS DE PASO
72	1	U	PARO DE EMERGENCIA TIPO HONGO NC
73	1000	U	AMARRAS PLASTICAS NYLON 500mm
74	18	U	BANDEJAS PORTA CABLES TIPO DUCTO + TAPAS 50*100*2400mm
75	2	U	ACCESORIOS PARA BANDEJA TIPO DUCTO-UNIÓN EN T 50*100mm
76	4	U	ACCESORIOS PARA BANDEJA TIPO DUCTO-CURVA ARTICULADA 50*100mm
77	2	U	ACCESORIOS PARA BANDEJA TIPO DUCTO-TAPA CURVA ARTICULADA VERTICAL EXTERNA 50*100mm
78	2	U	ACCESORIOS PARA BANDEJA TIPO DUCTO-TAPA CURVA VERTICAL INTERNA 50*100mm
79	2	U	ACCESORIOS PARA BANDEJA TIPO DUCTO-CURVA Y TAPA 90° 50*100mm
80	300	U	TERMINAL TIPO U PARA CABLE #14AWG
81	300	U	TERMINAL TIPO U PARA CABLE #16AWG

ANEXO D: Proforma con una parte de los materiales cotizados



COTIZACION N° 01-1146

AUTOMATIZACION INDUSTRIAL, MANTENIMIENTO Y MATERIAL ELECTRICO

RUC: 1792426448001 TELF: 3261726 / 098317918
 DIRECCION: AMAGASI E15-267 Y NOGALES

www.simoticecuador.com

SIMOTIC ECUADOR 0984953972

EMPRESA:
UBICACIÓN: AMBATO
SOLICITADO POR: Srta.CATERINE TOAPANTA
TELEFONO:

FECHA: 22/02/2021
VENDEDOR: ANDRÉS TIPANTUÑA
TELEFONO: 0985472120
CORREO: ventassimotic@gmail.com

ITEM	DESCRIPCION	CANT	UND	PRECIO	DESC	TOTAL
1	BORNERA CAGE CLAMP 10 - 14 AWG 0.5-4MM	40	UND	\$ 1,02	0%	\$ 40,80
2	BORNERA C.CL TIERRA 10 - 14 AWG 0.5-4MM	10	UND	\$ 2,44	0%	\$ 24,40
3	BORNERA CAGE CLAMP 16 - 18 AWG 2.5MM	50	UND	\$ 0,82	0%	\$ 41,00
4	BORNERA C.CL TIERRA 16 - 18 AWG 2.5MM	10	UND	\$ 2,45	0%	\$ 24,50
5	PUENTE EQUIPOTENCIAL 2.5/6MM	10	UND	\$ 3,37	0%	\$ 33,70
6	TAPAS P/BORNE 10-14AWG	4	UND	\$ 2,86	0%	\$ 11,44
7	TAPAS P/BORNE TIERRA 10-14AWG	4	UND	\$ 1,61	0%	\$ 6,44
8	TAPA P/BORNE 16-18 AWG	4	UND	\$ 2,86	0%	\$ 11,44
9	TAPA P/BORNE TIERRA 16-18 AWG	4	UND	\$ 1,61	0%	\$ 6,44
10	TOPE FINAL DE BORNERA	8	UND	\$ 0,60	0%	\$ 4,80
11	TERMINAL TIPO PUNTERA 16AWG	3	UND	\$ 2,05	0%	\$ 6,15
12	TERMINAL TIPO PUNTERA DOBLE 16 AWG	1	UND	\$ 2,72	0%	\$ 2,72
13	TERMINAL TIPO PUNTERA 14AWG	3	UND	\$ 2,79	0%	\$ 8,37
14	TERMINAL TIPO PUNTERA DOBLE 14 AWG	1	UND	\$ 3,09	0%	\$ 3,09
15	CANAleta RANURADA 50 * 50	2	UND	\$ 9,35	0%	\$ 18,70
16	RIEL DIN 1 MTS 35MM METALICA	4	UND	\$ 2,35	0%	\$ 9,40
17	TABLERO METALICO 60 X 40 X 20 CM	1	UND	\$ 68,13	0%	\$ 68,13
18	PULSADOR P/EMERGENCIA 22MM PLT.	1	UND	\$ 2,58	0%	\$ 2,58
19	PRENSA ESTOPA PG.21	20	UND	\$ 0,84	0%	\$ 16,80
20	AMARRA PLAST.BL.50 CM (100U)	10	UND	\$ 15,59	0%	\$ 155,90
21	Bandeja Porta-cable Tipo Ducto (50x100x2400) mm	18	UND	\$ 14,35	0%	\$ 258,30
22	Tapa de Bandeja Portacable de (50x100x2400)mm	18	UND	\$ 8,14	0%	\$ 146,52
23	T-100 Union T en acero Tipo 2 de 0,9 mm	2	UND	\$ 10,87	0%	\$ 21,74
24	TAPA PARA UNION T 100 mm FABRICADA en acero Tipo 2 e=	2	UND	\$ 1,68	0%	\$ 3,36
25	AV-100 Curva articulada vertical fabricada en acero	4	UND	\$ 12,13	0%	\$ 48,52
26	AV-100 Tapa curva articulada vertical externa fabricada en	4	UND	\$ 3,34	0%	\$ 13,36
27	TERMINAL TIPO U 14 AWG (100U)	3	UND	\$ 4,99	0%	\$ 14,97
28	TERMINAL TIPO U 16 AWG (100U)	3	UND	\$ 4,36	0%	\$ 13,08

SUBTOTAL	\$ 1.016,65
IVA:	\$ 122,00
TOTAL	\$ 1.138,65

FORMA DE PAGO: A CONVENIR

TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATO SALVO VENTA PREVIA

VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 DIAS



ANEXO E: Carta de aceptación de Ciauto Cía. Ltda.



Ambato 12 de julio de 2023

Señor Ing.

Jose Luis Morales Gordón

DIRECTOR DE LA CARERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Presente:

Yo, Ingeniero Miguel Angel Taipe con cédula de identidad 1715636211 en calidad de Coordinador de Mantenimiento de la Empresa CIUDAD DEL AUTO CIAUTO CIA LTDA, confirmo la aceptación del trabajo de investigación de la Srta. Caterine Alexandra Toapanta Bautista, portadora de la cédula de identidad 1805055835. Estudiante de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Y certifico, que hemos recibido la "PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE NIVEL DE ANOLITOS PARA LA PLANTA DE PINTURA CIAUTO CIA. LTDA.", el mismo que nos servirá para automatizar esta importante fase dentro del proceso de pintura en un futuro inmediato.

Atentamente,

**CIAUTO
CIA LTDA**

MSc.. Ing. Miguel Ángel Taipe

COORDINADOR DE MANTENIMIENTO

C.I. 1715636211

CEL:0993300735

MATRIZ AMBATO: Camino Real s/n junto a la hacienda San Pablo. Parroquia Augusto N. Martínez

Tel: (09)82717511

www.ciauto.ec

ANEXO F: Pantalla HMI instalada en el tablero de control



ANEXO G: Dispositivos instalados en la parte interna del tablero de control





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11/12/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: CATERINE ALEXANDRA TOAPANTA BAUTISTA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Fernanda Arévalo M.

