

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL  
(ICS) DIDÁCTICO MODULAR PARA EL LABORATORIO DE REDES  
INDUSTRIALES**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI EN LA PLATAFORMA  
WEB DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIEMENS  
S7-1200 PARA EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**ANGELO ROBERTO BORJA SOLANO**

**angelo.borja@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: Dra. Ing. Silvana Del Pilar Gamboa Benítez**

**silvana.gamboa@epn.edu.ec**

**DMQ, septiembre 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Angelo Roberto Borja Solano declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**ANGELO ROBERTO BORJA SOLANO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Angelo Roberto Borja Solano, bajo mi supervisión.

---

**DRA. ING. SILVANA DEL PILAR GAMBOA BENÍTEZ**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Angelo Roberto Borja Solano

Dra. Ing. Silvana Del Pilar Gamboa Benítez

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a los cuatro pilares de mi vida, a mi hermana Jennyfer, a mi padre Roberto, a mi madre Lidia y a mi abuelita Gloria, por ser mi apoyo, guía y motivación para siempre seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi hermana Jennyfer por el aliento, protección y cariño en cada momento de mi vida. A mi padre Roberto por su apoyo incondicional. A mi madre Lidia y a mi abuelita Gloria por sus enseñanzas, su amor y su acompañamiento hasta el último día de sus vidas. A mi prima Paola y su hijo Jeffrey por el cariño familiar. A mis tíos y a mis tías paternos por las experiencias, consejos, cuidados y apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida.

A la Dra. Silvana Gamboa, por sus consejos y enseñanzas durante mi formación académica y también durante el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A la Escuela Politécnica Nacional y a mis maestros, quienes de distintas formas lograron desarrollar y optimizar mi potencial académico.

A todos los amigos que conocí durante mi vida universitaria y con los cuales compartí momentos únicos dentro y fuera del ámbito estudiantil.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE .....	2
1.4 MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1 SERVIDOR WEB.....	3
1.4.2 SERVIDOR WEB PLC SIEMENS S7-1200 .....	4
1.4.3 PÁGINAS WEB CREADAS POR EL USUARIO.....	5
1.4.4 COMUNICACIÓN DE VARIABLES DEL PROCESO CON HMI DENTRO DEL SERVIDOR WEB.....	11
2 METODOLOGÍA.....	17
2.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HMI EN EL SERVIDOR WEB.....	17
2.2 ARQUITECTURA DEL SERVIDOR WEB .....	18
2.3 EMULACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL.....	19
2.4 DISEÑO DEL HMI CON FORMATO WEB.....	22
2.4.1 DISEÑO DE VENTANA PRINCIPAL DE ACCESO .....	24
2.4.2 DISEÑO DE VENTANA PROCESO GENERAL .....	26
2.4.3 DISEÑO DE VENTANA DE TENDENCIAS EN TIEMPO REAL .....	29
2.4.4 DISEÑO DE REGISTRO DE DATOS.....	33
2.4.5 DISEÑO DE VENTANAS DE CONFIGURACIÓN .....	35
2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO .....	37
2.5.1 HABILITACIÓN Y PROTECCIÓN DEL SERVIDOR WEB.....	37
2.5.2 PROGRAMACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL.....	37
2.5.3 MAPA DE MEMORIA Y ESQUEMA DE CONEXIONES .....	39
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44

3.1	RESULTADOS.....	44
3.1.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE HARDWARE.....	44
3.1.2	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC .....	45
3.1.3	IMPLEMENTACIÓN DEL HMI DENTRO DEL SERVIDOR WEB DEL PLC S7-1200 .....	47
3.1.4	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI EN CONJUNTO CON LA ESTRUCTURA DE HARDWARE .....	51
3.2	CONCLUSIONES.....	57
3.3	RECOMENDACIONES .....	58
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
5	ANEXOS.....	61
	ANEXO I .....	62
	ANEXO II .....	65
	ANEXO III .....	66
	ANEXO IV .....	70
	ANEXO V .....	75
	ANEXO VI .....	79

## RESUMEN

El presente documento de titulación muestra el desarrollo de una aplicación de software tipo HMI (Human Machine Interface). Esta aplicación se ha desarrollado utilizando tecnologías de diseño de páginas web, donde se muestra que el uso de un HMI en un servidor web facilita el monitoreo y permite cierto grado de control de un proceso de pequeña escala. Una vez se tenga habilitado y cargado el HMI dentro del servidor web de un PLC, se puede acceder al mismo desde el navegador web de cualquier dispositivo que se encuentre dentro de la misma red local, incluso permitiendo que varios dispositivos lo hagan al mismo tiempo. La factibilidad del uso de un HMI basado en web server será validado en un proceso de control de nivel de dos tanques interconectados, donde mediante el HMI se podrá monitorear y controlar parámetros del proceso, visualizar tendencias en tiempo real y además realizar un registro de datos de las variables más representativas.

**PALABRAS CLAVE:** Servidor web, HMI, S7-1200, controlador lógico programable.



## **ABSTRACT**

The present degree document showcases the development of an HMI (Human Machine Interface) software application. This application has been developed using web page design technologies, demonstrating that the use of an HMI on a web server facilitates monitoring and allows a certain degree of control over a small-scale process. Once the HMI is enabled and loaded within the PLC's web server, it can be accessed from any device's web browser within the same local network, even allowing multiple devices to access it simultaneously. The feasibility of using a web server-based HMI will be validated in a two interconnected tanks level control process, where the HMI will enable monitoring and control of process parameters, real-time trend visualization, and data logging of the most representative variables.

**KEYWORDS:** Web server, HMI, S7-1200, programmable logic controller.

# 1 INTRODUCCIÓN

El surgimiento de modelos productivos enfocados a la industria 4.0 ha generado un gran cambio en el punto de vista de los procesos industriales, de manera que muchas empresas alrededor del mundo buscan integrar tecnologías de información y comunicaciones avanzadas en los procesos, con la finalidad de permitir el control y monitoreo industrial en tiempo real a través de la red de manera remota. La industria 4.0 presenta el potencial de revolucionar los procesos industriales ya conocidos, esto por la incorporación de herramientas digitales que mejoran tanto la eficiencia como la calidad de un proceso, por esta razón se busca que los estudiantes estén en contacto con herramientas que les permitan interactuar con equipos reales, los cuales presenten ejemplos simples y a su vez funcionales de lo que podrán encontrarse en el ambiente industrial una vez culminen su formación profesional [1].

Dentro de muchos procesos industriales se hace uso de componentes tecnológicos que permiten el intercambio de datos entre los controladores y los equipos de monitoreo, una de las herramientas que permiten dicho intercambio de datos es el servidor web, los servidores web permiten el acceso remoto, la visualización de variables del proceso y la configuración de PLCs a partir de diferentes dispositivos, estos pueden ser computadoras, laptops, tabletas, celulares, entre otros.

En un ambiente controlado como un laboratorio universitario se puede implementar el control y monitoreo de un proceso industrial mediante el uso de servidores web, para acceder a estos servidores se utilizan instrucciones tipo HTML, de manera que permiten el control y monitoreo de cualquier proceso mediante el diseño de una página web, la página web diseñada se comunica con las variables del proceso y pueden ser accedidas por cualquier usuario dentro de la misma red local. Los servidores web pueden estar incorporados dentro de controladores lógicos programables, o incluso microcontroladores, de manera que no requieren de equipos adicionales para su funcionamiento [2].

La razón del presente proyecto es mostrar dentro del ambiente educativo la emulación de un proceso industrial con la implementación de un HMI dentro de un servidor web, el diseño del HMI requiere tecnologías enfocadas al diseño de páginas web, de manera que no se limita el diseño a una estructura, sino que el diseño puede presentar cualquier esquema que se desee, el servidor web utilizado viene incorporado dentro de los PLC S7-1200 pertenecientes al Laboratorio de Redes Industriales, de ese modo se presentan muchas facilidades en su uso.

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un HMI en la plataforma web del controlador lógico programable Siemens S7-1200 para el Laboratorio de Redes Industriales.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una investigación bibliográfica sobre el funcionamiento y las características de la plataforma web del PLC S7-1200.
2. Establecer los requerimientos para el diseño e implementación del HMI en la plataforma web del controlador lógico programable S7-1200 basado en el control de nivel de dos tanques interconectados.
3. Seleccionar componentes y elementos electrónicos, además de los sensores y actuadores requeridos para la implementación de la estructura física.
4. Diseñar e implementar el HMI en la plataforma web del controlador lógico programable S7-1200 en base a los parámetros del proceso y características de los componentes y elementos electrónicos, además de los sensores y actuadores seleccionados.
5. Validar el funcionamiento del HMI en la plataforma web del controlador lógico programable Siemens S7-1200 en conjunto con los elementos del proceso planteado.

## 1.3 ALCANCE

El alcance del componente se dividirá en cuatro fases:

**1.3.1. Fase teórica:** Se realiza una síntesis bibliográfica acerca del funcionamiento del controlador lógico programable Siemens S7-1200 priorizando su uso en conjunto con plataformas web, sus requerimientos de acceso, y aplicación en adquisición de datos, control y monitoreo de un proceso. Además, se seleccionan los requerimientos físicos para el diseño de una estructura física de dos tanques interconectados. Así también, se establece los requerimientos de software para el diseño del HMI, principalmente los lenguajes de programación web y adecuarlos a la estructura de los dos tanques interconectados.

**1.3.2. Fase de diseño:** Se identifican los elementos de la estructura física, considerando los sensores y actuadores requeridos en el proceso, además se analiza la lógica de

programación adecuada para el control de nivel de los tanques. Una vez se tenga todo el análisis de requerimientos, se procede a diseñar la página web mediante tecnologías web, en conjunto con la programación del PLC y por último el diseño de la estructura física destinada al control de nivel.

**1.3.3. Fase de implementación:** Se lleva a cabo la implementación del proceso total, partiendo de cargar la página web diseñada previamente dentro del servidor web del PLC, además de añadir la programación requerida en el proceso y realizar las conexiones de hardware mediante la estructura física diseñada.

**1.3.4. Fase de pruebas:** Se realizan pruebas de funcionamiento del HMI en la plataforma web del controlador lógico programable Siemens S7-1200 en conjunto con la estructura física del proceso de control de nivel de los dos tanques interconectados, con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de la plataforma emulando un proceso real.

## 1.4 MARCO TEÓRICO

En esta parte del documento se detalla los conceptos teóricos enfocados al uso de servidores web integrados en los PLC Siemens S7-1200, así como también los conceptos básicos de diseño de páginas web mediante las tecnologías HTML, CSS y JavaScript.

### 1.4.1 SERVIDOR WEB

Se define a un servidor web como un programa encargado de responder y procesar a los requerimientos solicitados utiliza el modelo clásico de cliente-servidor donde se puede acceder a los requerimientos de manera sincrónica o asincrónica y también pueden ser tanto bidireccionales como unidireccionales. El funcionamiento de un servidor web se basa en la aplicación del protocolo TCP/IP, el cual proviene de cuatro capas del modelo OSI, como se puede apreciar en la Tabla 1.1 [3].

**Tabla 1.1.** Descripción de capas del modelo OSI para protocolo TCP/IP [3]

Capa del modelo OSI	Características del protocolo	Función del sistema
Aplicación	HTTP, FTP, SMTP	Plataforma para aplicaciones dentro del servidor web.
Transporte	TCP	Configuración de puertos y conexiones para transporte seguro de datos.

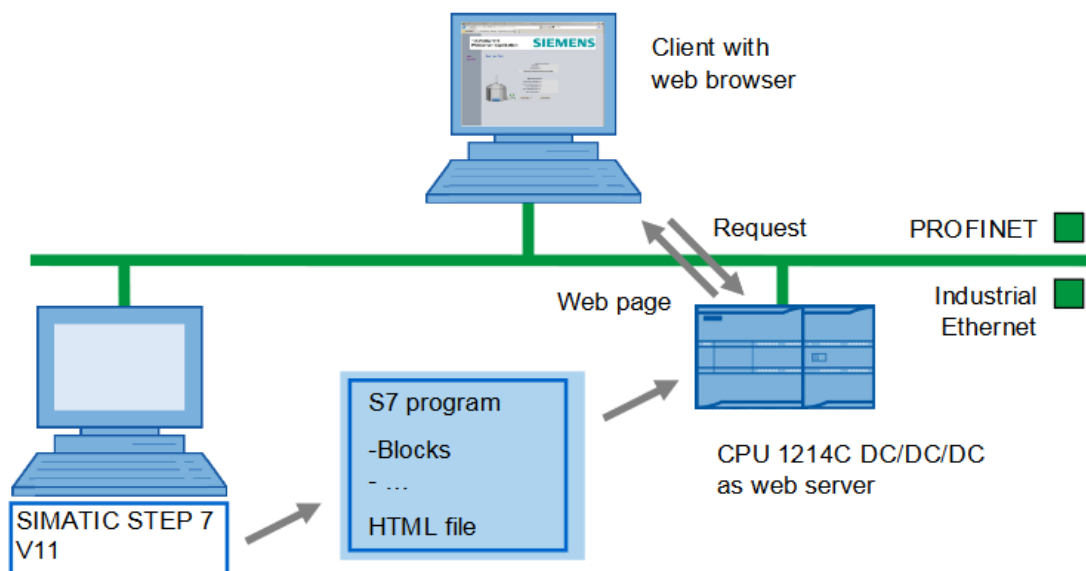
Red	IP	Establecimiento de dirección IP, así como también la máscara de red.
Enlace	Acceso mediante algoritmos CSMA	Manejo de dirección MAC física para evitar colisiones

#### 1.4.2 SERVIDOR WEB PLC SIEMENS S7-1200

Los PLC Siemens S7-1200 presentan una interfaz basada en PROFINET, la cual permite el acceso a las variables de un proceso cargado en el PLC con la ayuda de páginas web internas del sistema [4].

El acceso al servidor web se lo realiza mediante el navegador web de dispositivos que se encuentren dentro de la misma red, permitiendo el acceso a mecanismos del PLC como pueden ser identificación de módulos, diagnóstico de memoria, estatus de variables, registros de datos o la posibilidad de utilizar páginas web creadas por el usuario [4].

La comunicación de variables con el PLC se la realiza mediante comandos AWP (Automation Web Programming), los cuales son provistos internamente por el PLC. Una típica aplicación web se muestra en el esquema presentado en la Figura 1.1.

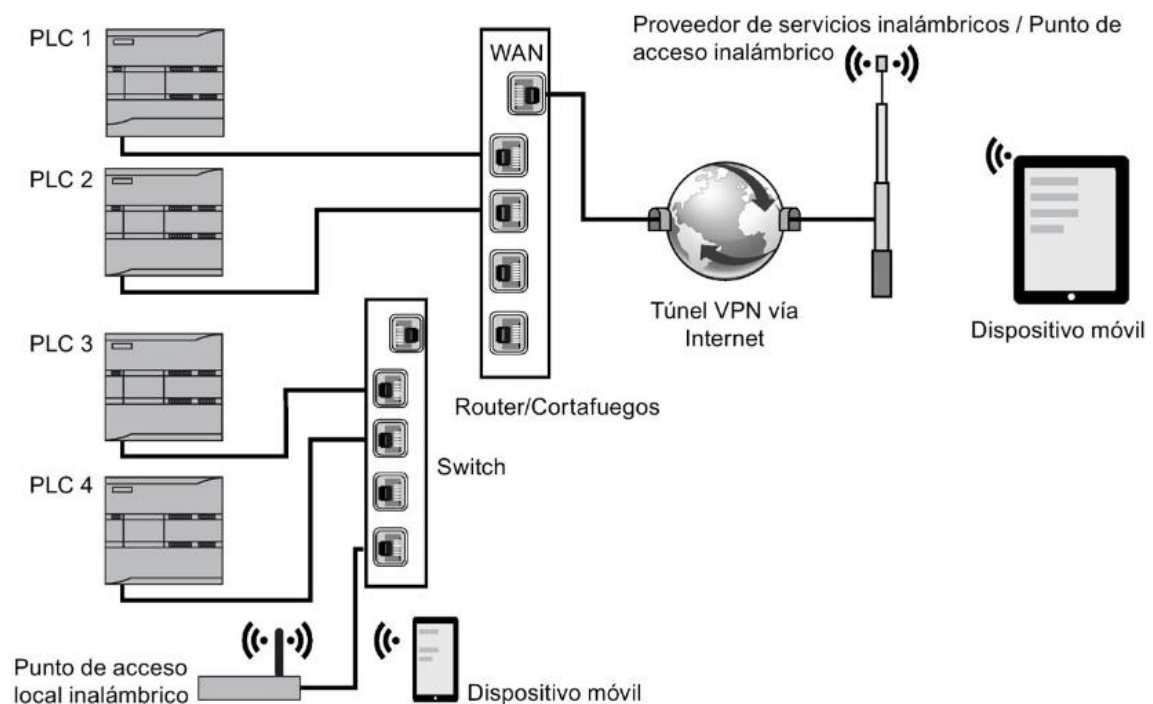


**Figura 1.1.** Esquema de acceso al servidor web de un PLC S7-1200 [4]

Como se puede apreciar en la Figura 1.1, para configurar el servidor web únicamente se requiere de una computadora con el software TIA PORTAL, y un PLC S7-1200, y se puede

acceder al servidor web utilizando el navegador web de cualquier dispositivo que esté conectado en la misma red.

Si bien el uso de un servidor web puede realizarse de manera local, esto no impide que se pueda realizar una implementación de manera remota, en la Figura 1.2 se presenta el ejemplo de un proceso que cuenta con cuatro PLCs, el PLC 3 y el PLC 4 permiten un acceso local mediante un dispositivo móvil, mientras que el PLC 1 y el PLC 2 permiten un acceso remoto ya que ambos PLC están conectados a internet mediante un túnel VPN [5].



**Figura 1.2.** Esquema de ejemplo para acceso local y remoto a un servidor web [5]

### 1.4.3 PÁGINAS WEB CREADAS POR EL USUARIO

Como se mencionó anteriormente el servidor web del PLC S7-1200 permite el uso de páginas web creadas por el usuario, estas páginas deben ser creadas utilizando tecnologías de diseño web, donde constan HTML, CSS y JavaScript, permitiendo además la incorporación de archivos de imágenes [4].

Las páginas web se pueden crear en editores de texto de cualquier sistema operativo, ya que únicamente requieren líneas de códigos textuales, pero por facilidad se puede hacer uso de editores de código, los cuales presentan interfaces muy intuitivas y permiten añadir extensiones para verificar errores en el código o también autocompletar ciertas líneas de código, el editor de código más utilizado en la actualidad es “Visual Studio Code”

### **1.4.3.1 Editor de código Visual Studio Code**

Este editor de código fue desarrollado por Microsoft, siendo un editor gratuito y disponible para múltiples sistemas operativos, entre los cuales se encuentran Windows, Linux y MacOS, su disponibilidad para los usuarios en general ha convertido a este editor de código en el más utilizado a nivel mundial por desarrolladores [6].

Entre sus características más importantes se encuentra la posibilidad de editar en varios tipos de lenguajes de programación y además la facilidad para añadir distintos tipos de extensiones, por defecto Visual Studio Code presenta dos extensiones, siendo estas IntelliSense y Depuración [6].

- IntelliSense permite autocompletar partes del código, ahorrando mucho tiempo en la escritura de códigos, esta extensión presenta varias versiones enfocadas a los distintos tipos de lenguajes permitidos.
- Depuración permite analizar el código escrito en tiempo real, resaltando errores de escritura o de sintaxis, permitiendo conocer los errores antes de compilar el programa.

Para el diseño de aplicaciones web Visual Studio Code presenta una extensión muy útil, siendo esta "Live Server", esta extensión permite observar en tiempo real los cambios realizados en la página web sin la necesidad de recargar la página, esto permite visualizar de mejor manera cambios mínimos realizados [7].

### **1.4.3.2 Principios básicos en el diseño de páginas web**

Las páginas web actuales utilizan tres tecnologías de diseño, siendo estas HTML, CSS y JavaScript, se les llama también lenguajes de programación, pero únicamente JavaScript debe considerarse como uno, mientras que HTML es un lenguaje de etiquetas y CSS es un lenguaje de configuración de estilos.

Comúnmente se considera a HTML como la estructura de la página web, ya que contiene todos los elementos a ser mostrados en la página [8], CSS se considera como la herramienta enfocada en la apariencia de la página web [9] y Java Script se encarga de la dinámica de la página web, así como también de funciones de la página [10].

#### **1.4.3.2.1 Conceptos y elementos básicos de HTML**

HTML son las siglas de Hyper Text Markup Language, lo que se traduce como lenguaje de marcado de hipertexto, lo que indica que su funcionamiento se basa en el desplazamiento

entre enlaces, donde el hipertexto puede conformarse por imágenes, tablas, enlaces a otras páginas web, etc. [8].

El uso de HTML se basa en etiquetas, donde exceptuando algunos casos, las etiquetas deben tener una apertura y un cierre, la estructura básica de HTML utiliza tres etiquetas principales: <html>, <head> y <body> [11].

- <html>: es la etiqueta más importante de la estructura HTML, ya que permite el ingreso de las demás etiquetas o atributos dentro de la página web.
- <head>: es la etiqueta encargada de atributos destinados a mostrar al usuario, dentro de esta etiqueta se define el nombre de la página, el título a mostrar y se enlaza la página web con otros documentos o API (Application Programming Interfaces).
- <body>: es la etiqueta destinada al contenido de la página web, en esta etiqueta se añaden enlaces, imágenes, textos, tablas, entre otros.

Si bien las etiquetas antes mencionadas son la base de una página web, también se cuenta con muchas otras etiquetas que permiten desarrollar de mejor manera la página web, en la Tabla 1.2 se muestran algunos de los tipos de etiquetas más utilizadas y su funcionalidad en el desarrollo de páginas web [4].

**Tabla 1.2.** Etiquetas útiles en el desarrollo de una página web [4]

Etiqueta	Funcionalidad
<a> ... </a>	Permite enlazar la página web presente a otra página.
<div> ... </div>	Permite agrupar elementos dividiendo en secciones el cuerpo de la página web.
<form> ... </form>	Permite insertar un formulario en la página web.
<img>	Permite insertar una imagen dentro de la página web, como se puede observar esta etiqueta no presenta un cierre.
<p> ... </p>	Permite escribir un párrafo, al utilizar nuevamente la etiqueta se asigna uno nuevo.



<code>&lt;table&gt; ... &lt;/table&gt;</code>	Permite crear una tabla, es muy útil para organizar elementos.
<code>&lt;style&gt; ... &lt;/style&gt;</code>	Permite la modificación del estilo de una sección de la página web
<code>&lt;script&gt; ... &lt;/script&gt;</code>	Permite añadir una sección destinada a código, este puede provenir JavaScript

HTML permite añadir identificaciones de clases a las etiquetas utilizadas, de manera que se pueda acceder directamente a ellas mediante CSS o JavaScript y así modificar sus propiedades, por ejemplo, para añadir una identificación de clase a una etiqueta `<div>` se debe digitar el comando "id" dentro de la apertura de la etiqueta, en este caso:

```
<div id="Nombre_de_clase"> ... </div>
```

Por sí solo, HTML produce como resultado una página web muy básica, donde únicamente se tendrían los objetos desplazados secuencialmente y su diseño estaría limitado a ubicaciones, tamaños, y desplazamientos, por esta razón HTML se complementa con CSS y JavaScript [8].

#### **1.4.3.2.2 Conceptos y elementos básicos de CSS**

CSS son las siglas de Cascading Style Sheets, lo que se traduce como hojas de estilo en cascada, lo que indica que su funcionamiento está enfocado plenamente al estilo que deberá llevar una página web [12].

Su funcionamiento se basa en asociar identificaciones de clase pertenecientes a etiquetas de una página HTML y modificar propiedades del contenido de las etiquetas.

Las propiedades que se pueden modificar mediante el uso de CSS principalmente son ubicación, forma, color y tamaño, aunque con el pasar del tiempo se han desarrollado otras configuraciones tales que permiten animaciones, estas configuraciones vienen limitadas a las versiones de los navegadores.

Cada modificación a una clase debe mantener una estructura, los cambios en la clase se los realiza mediante la apertura y cierre de llaves "{}", además dentro de las llaves cada propiedad a modificar deberá culminar con un punto y coma ",".

```

CSS
h1 {
  color: red;
  font-size: 5em;
}

```

**Figura 1.3.** Ejemplo de modificación de estilo mediante CSS

La Figura 1.3 muestra un ejemplo de la estructura al modificar tanto el color como el tamaño en una etiqueta [12].

La cantidad de propiedades que es posible modificar con CSS es demasiado grande, y muchas propiedades únicamente son permitidas en los navegadores actuales.

Se debe tomar en cuenta que muchas propiedades requieren el uso de valores, estos valores presentan unidades y los más comunes son píxeles (px), segundos (s), porcentajes (%), entre otros, la Tabla 1.3 presenta las propiedades más utilizadas dentro de CSS [4].

**Tabla 1.3.** Propiedades útiles de CSS en desarrollo de una página web [4]

Propiedad CSS	Funcionalidad	Ejemplos de Valores permisibles
position	Position type	static, relative, absolute, fixed
top left bottom right	Start position from top Start position from left Start position from bottom Start position from right	10px, 2%
width height	Width Height	100px, 20%
direction	Direction	ltr, rtl
z-index	Layer position for overlapping	1, 2
font-family	Font	Arial, Helvetica
font-style	Font style	italic, oblique, normal
font-size	Font size	20px, 100%, small, medium, large

font-weight	Font weight	bold, normal, bolder, lighter, 100 to 900
text-decoration	Text decoration	underline, blink, none
text-transform	Text transformation	uppercase, lowercase
color	Text color	rgb(51,102,170), #FFFFFF
vertical-align:	Vertical alignment	top, middle, bottom
text-align	Horizontal alignment	left, center, right, justify
margin margin-top margin-right margin-bottom margin-left	Margin/Distance general Margin/distance top Margin/distance right Margin/distance bottom Margin/distance left	10px, 5%
padding padding-top padding-right padding-bottom padding-left	Padding general Padding top Padding right Padding bottom Padding left	10px, 5%
border[-top, -right, bottom, -left] border-collapse	Border general Border model	2px solid white 2px, 1%, thin, medium, thick #FFFF00, white none, hidden, dotted, solid, dashed, double separate, collapse
background background-color background-image background-repeat background-attachment background-position	Background color and image Background color Background image Repetition effect Water mark effect Background position	Image.png no-repeat rgb(51,102,170), #FFFFFF Image.png repeat, no-repeat, repeat-x, repeat-y scroll, fixed 10px 10px, top, bottom, center, left, right
list-style-type	List style type	none, square, circle, disc
empty-cells	Display of empty cells	show, hide

### **1.4.3.2.3 Conceptos y elementos básicos de JavaScript**

JavaScript se considera un lenguaje de programación enfocado a páginas web dinámicas, es decir que no se limiten a únicamente mostrar textos o imágenes, sino que permita la interacción del usuario, permitiendo realizar cálculos, manipular contenido en tiempo real o realizar solicitudes a servidores [10].

A diferencia de otros lenguajes de programación, JavaScript presenta una compilación directamente en los navegadores web, de manera que el desarrollo del código no requiere de un compilador externo.

JavaScript se considera un lenguaje de programación de alto nivel y su funcionamiento es estructurado, es decir la digitación del código debe seguir un orden descendente y se ejecutará respetando dicho orden [13].

Existen dos maneras para utilizar JavaScript dentro de una página web, la primera es creando un archivo externo y llamar al archivo dentro de la etiqueta <head>, y la otra forma es utilizando la etiqueta <script> donde se escribe directamente el código.

Los conceptos de JavaScript son similares a otros lenguajes de programación, donde se puede utilizar funciones, se debe definir variables, realizar cálculos numéricos, estructurar bucles y utilizar diferentes comandos para realizar lecturas o escrituras, de manera que el uso completo de JavaScript es bastante amplio.

### **1.4.4 COMUNICACIÓN DE VARIABLES DEL PROCESO CON HMI DENTRO DEL SERVIDOR WEB**

La comunicación de variables entre un HMI y un proceso industrial es algo de suma importancia, ya que permite la lectura y escritura de variables a partir del HMI, logrando controlar o monitorear el proceso de mejor manera desde una localización externa al proceso físico.

A diferencia de otros HMI donde se requiere asignar las variables mediante la configuración individual de los parámetros de los elementos o incluso llamar a la dirección de las variables programadas, el servidor web del PLC S7-1200 permite la comunicación de variables de una manera muy directa.

Las variables dentro del servidor web se pueden leer o escribir a partir del nombre asignado a cada variable junto con una cierta estructura de caracteres, una vez se cumpla la estructura, basta con digitarla en el código HTML o JavaScript y se logrará la comunicación.

La transferencia de variables se la realiza automáticamente al producirse un refrescamiento de la página web, este refrescamiento o recarga de la página web se lo puede realizar tanto manual como automáticamente, en este caso al tener un proceso continuo el refrescamiento se lo realiza automáticamente.

En una página web se pueden leer o escribir tantas variables como se desee, pero tomando en consideración que a mayor cantidad de variables se requerirá un mayor tiempo para transferencia de los datos, es decir el intervalo de refrescamiento será mayor, se puede tomar como referencia la Tabla 1.4 [4].

**Tabla 1.4.** Relación número de variables con tiempo de refrescamiento [4]

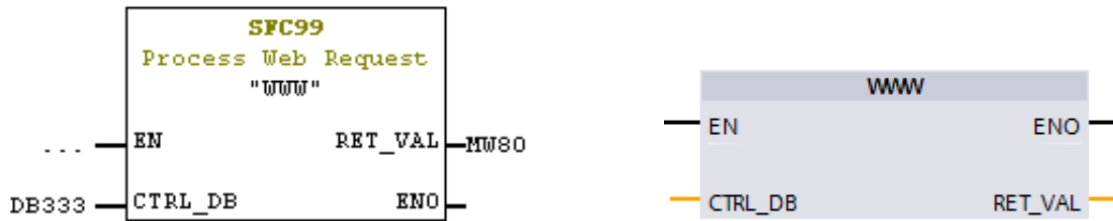
Número de variables	Porcentaje de carga de comunicación	Tiempo de refrescamiento
10	20[%]	2.4[s]
10	40[%]	2.1[s]
20	20[%]	3.3[s]
20	40[%]	2.8[s]
40	20[%]	5.9[s]
40	40[%]	4.8[s]

El tamaño de las variables no es relevante, es decir no hay diferencias entre variables booleanas o variables numéricas cuando se trata de tiempos de refrescamiento [4].

La escritura o lectura de variables requiere el uso del bloque de instrucciones WWW (SFC99) mostrado en la Figura 1.4, el bloque WWW permite tanto la inicialización como la sincronización entre el PLC S7-1200 y la página web diseñada, dicho bloque debe utilizarse dentro de los bloques de programación del proceso.

Utilizar este bloque requiere únicamente de la configuración de dos parámetros, el control de bloque de datos (CTRL\_DB) y estado de la transmisión (RET\_VAL).

CTRL\_DB se debe asociar con el bloque de datos generado a partir de la página web diseñada, y RET\_VAL se debe asociar a un tag de tipo entero, mediante el valor que se muestre se conoce si ocurrió algún tipo de error en la comunicación entre el PLC y el servidor web.

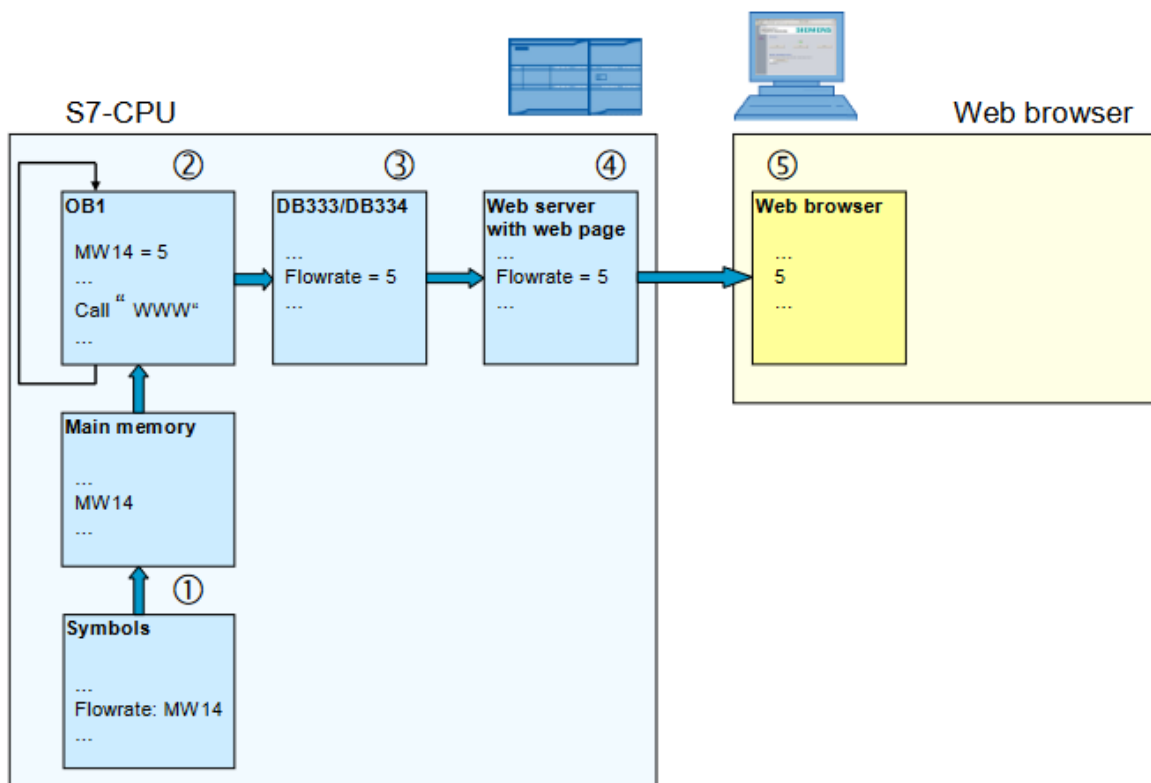


**Figura 1.4.** Representación gráfica del bloque de instrucciones WWW (SFC99) [4]

#### 1.4.4.1 Lectura de variables en el HMI desde el PLC

La lectura de variables en una página dentro del servidor web presenta como requerimiento el bloque WWW (SFC99), además de las variables previamente asignadas un nombre dentro de la programación [4].

El servidor web internamente permite la lectura de variables siguiendo la estructura de la Figura 1.5, en la Figura 1.5 como ejemplo se toma la variable llamada “Flowrate” y se muestra su desplazamiento desde el PLC hasta la página web diseñada [4].



**Figura 1.5.** Procedimiento para lectura de variables en páginas web diseñadas [4]

La lectura en la página web diseñada por el usuario se la realiza respetando tanto el nombre de la variable como también ciertos caracteres especiales, en este caso la variable a utilizar se la define a partir de la siguiente estructura:

1. Dos puntos (:)
2. Igual (=)
3. Se abren comillas (“)
4. Nombre de la variable (Nombre\_de\_variable)
5. Se cierran comillas (”)
6. Dos puntos (:)

En resumen, la estructura para leer una variable es la siguiente:

:=”Nombre\_de\_variable”:

Una vez se tenga una comunicación exitosa entre la página web y la programación, cada variable obtiene el valor que se encuentre en la programación, este valor se reemplaza en cada posición de las variables, independientemente si la variable se utiliza como texto visual o como característica de algún elemento de la página web.

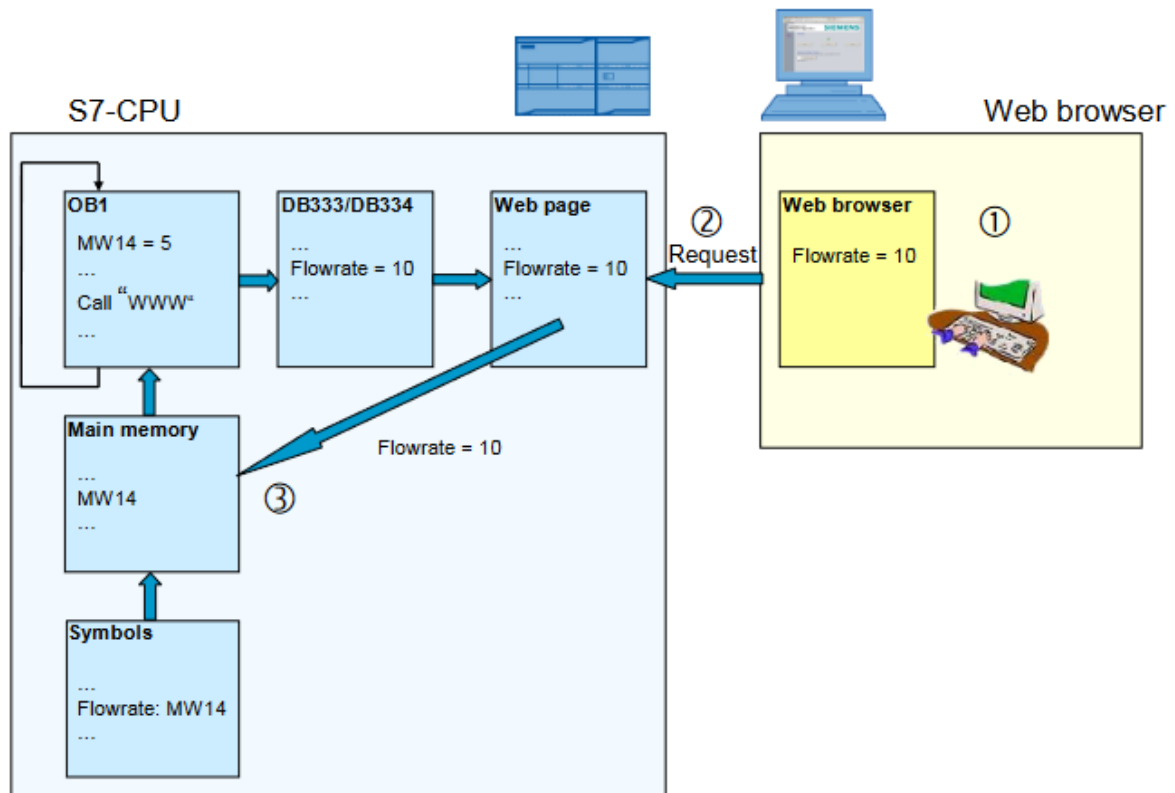
Una diferencia entre la lectura y escritura de variables es que la lectura no requiere de comandos AWP, estos comandos son proporcionados por el servidor web para realizar escrituras de variables en el PLC [4].

#### **1.4.4.2 Escritura de variables en el PLC desde el HMI**

De manera análoga con la lectura de variables, en la escritura también se requiere el bloque WWW (SFC99), con la diferencia que para escribir variables se necesita comandos AWP.

Los comandos AWP son entendidos por el servidor web para permitir la escritura de variables, dichas variables se las debe definir dentro de la estructura HTML, si bien se las puede definir en cualquier espacio de la página, pero por estética se lo hace en las primeras líneas del archivo [4].

El servidor web permite la escritura de variables siguiendo la estructura de la Figura 1.6, en la que como ejemplo se toma nuevamente la variable llamada “Flowrate” y se muestra su desplazamiento desde la página web diseñada hasta el PLC [4].



**Figura 1.6.** Procedimiento para escritura de variables desde páginas web diseñadas [4]

La estructura para definir una variable mediante comandos AWP es la siguiente:

1. Menor que (<)
2. Exclamación (!)
3. Doble guion medio (--)
4. Espacio en blanco ( )
5. Comando AWP (AWP\_In\_Variable)
6. Espacio en blanco ( )
7. Name (Name)
8. Igual (=)
9. Se abre comilla simple (')
10. Se abren comillas (“)
11. Nombre de la variable (Nombre\_de\_variable)
12. Se cierran comillas (”)



13. Se cierra comilla simple (')

14. Espacio en blanco ( )

15. Doble guion medio (--)

16. Mayor que (<)

En resumen, la estructura para definir una variable es la siguiente:

```
<!-- AWP_In_Variable Name="Nombre_de_variable" -->
```

Una vez se tenga definidas las variables estas se transfieren al PLC a través de una instrucción "POST" en el archivo HTML, es decir luego que ocurra un evento, en este caso la acción "POST" se la realiza al presionar un botón asignado a cada variable [5].

## 2 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología para el desarrollo de la aplicación de software tipo HMI, implementado en el servidor Web de un PLC Siemens S7-1200. El enfoque de este trabajo es de tipo cualitativo, ya que se basa en la descripción y explicación del servidor web dirigida hacia los estudiantes del Laboratorio de Redes Industriales.

El trabajo presenta un estudio tanto descriptivo como experimental, donde se puede comprender el funcionamiento del servidor web a partir de las características y funcionalidades que ofrece, además de su implementación mediante la emulación de un proceso industrial.

### 2.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HMI EN EL SERVIDOR WEB

Entre los requerimientos de diseño e implementación del HMI en el servidor web de un PLC S7-1200 se encuentran los siguientes:

- Acceso a un PLC S7-1200: el PLC debe contar con un puerto de red y servidor web integrado en su sistema.
- Conectividad: comunicación entre el PLC y los usuarios mediante una red local, en este caso la red del Laboratorio de Redes Industriales.
- Seguridad: protecciones para garantizar el acceso tanto a las funcionalidades como a la manipulación y observación del proceso.
- Memoria: limitar el tamaño de los archivos que forman parte del diseño de la página web, los mismos que serán cargados dentro de un PLC S7-1200, el tamaño de los archivos de la página web no debe superar la memoria de carga destinada al servidor web.
- Interfaz intuitiva: permitir a los usuarios interactuar con el proceso de una manera sencilla, tanto para control del proceso como para monitoreo.
- Tendencias en tiempo real: gráfico con los cambios recientes de las variables más importantes del proceso, además de permitir seleccionar dichas variables a mostrar.
- Registro de datos: obtener archivos con los cambios de variables importantes dentro de un mayor intervalo de tiempo, con los registros de fecha y hora de dichos cambios.

- Compatibilidad con dispositivos: garantizar el uso del servidor web en distintos tipos de navegadores mediante la instalación de certificados de acceso en los navegadores web.
- Emulación de un proceso industrial: observar el funcionamiento del servidor web al controlar un proceso real, el cual podrá ser monitoreado tanto por el HMI como por una estructura física.

## 2.2 ARQUITECTURA DEL SERVIDOR WEB

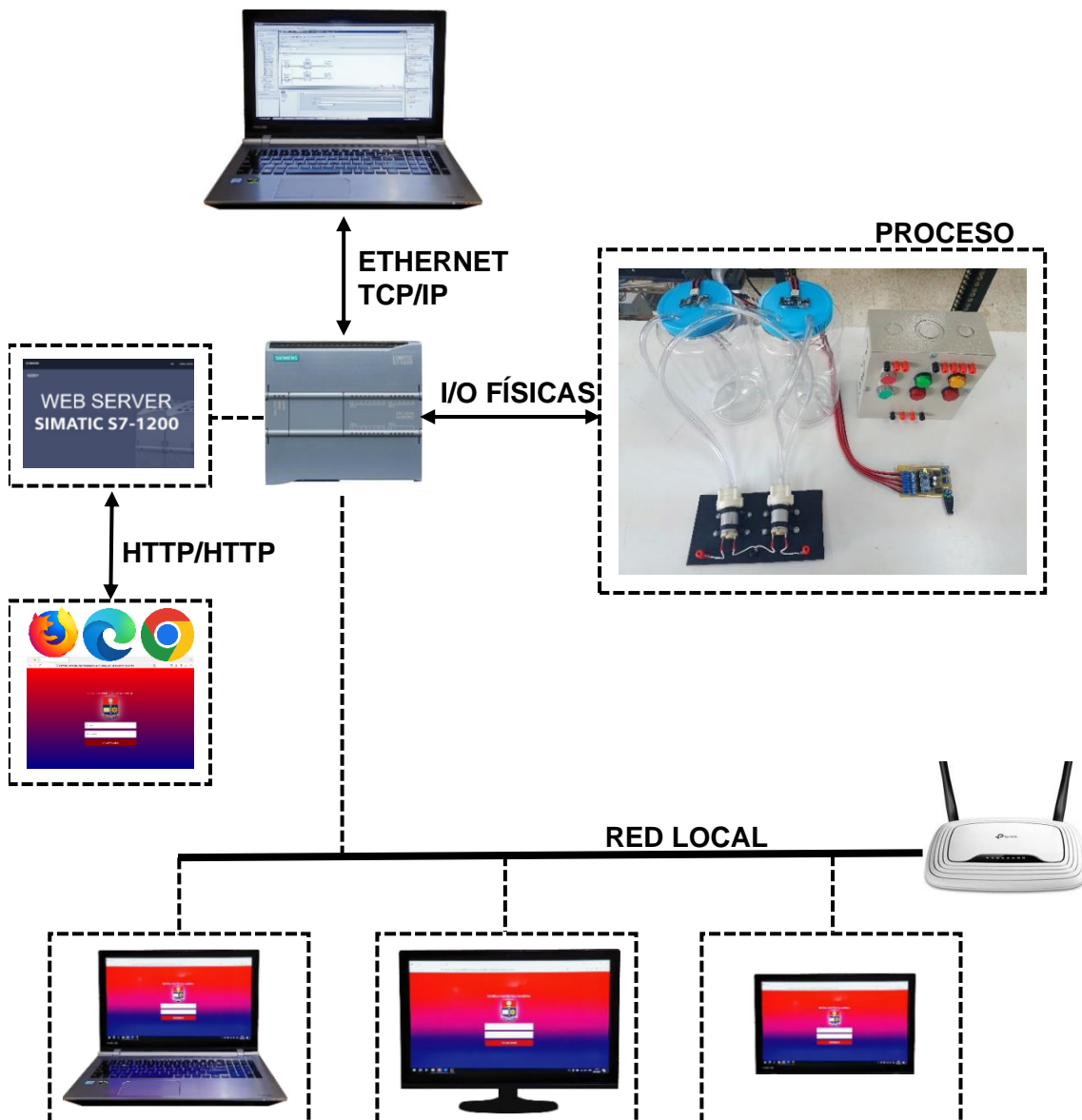


Figura 2.1. Esquema de conexiones del servidor web

La Figura 2.1 muestra la estructura de funcionamiento del servidor web, iniciando mediante la computadora localizada en la parte superior, dicha computadora cuenta con la aplicación de software tipo HMI diseñada mediante tecnologías web (HTML, CSS y JavaScript) y la programación de un proceso industrial con la ayuda del software TIA Portal para programación de un PLC Siemens.

Cumpliendo lo antes mencionado se habilita el servidor web, se generan los bloques de datos del HMI y se carga el programa completo dentro del PLC S7-1200, la carga del programa se lo realiza mediante el puerto de Ethernet del PLC.

El PLC S7-1200 permite el control y monitoreo del proceso industrial planteado, mediante una estructura física y a través del servidor web, para esto es necesario tener conectado tanto el PLC como los dispositivos deseados a la misma red local, en este caso se utiliza la red del Laboratorio de Redes Industriales.

Cada dispositivo tiene la opción de ingresar a la página web tipo HMI mediante el uso de sus respectivos navegadores web, entre algunos de los navegadores que soporta el servidor web del PLC S7-1200 se encuentran los siguientes:

- Internet Explorer 8.0 o superior
- Mozilla Firefox 3.0 o superior
- Opera 11.0 o superior
- Google Chrome a partir de sus primeras versiones
- Microsoft Edge a partir de sus primeras versiones

Si bien se soportan dichos navegadores con las versiones mencionadas, la mejor experiencia con el HMI diseñado se la obtiene con los navegadores más actuales, esto debido a la mejor compatibilidad con las tecnologías web utilizadas en el diseño.

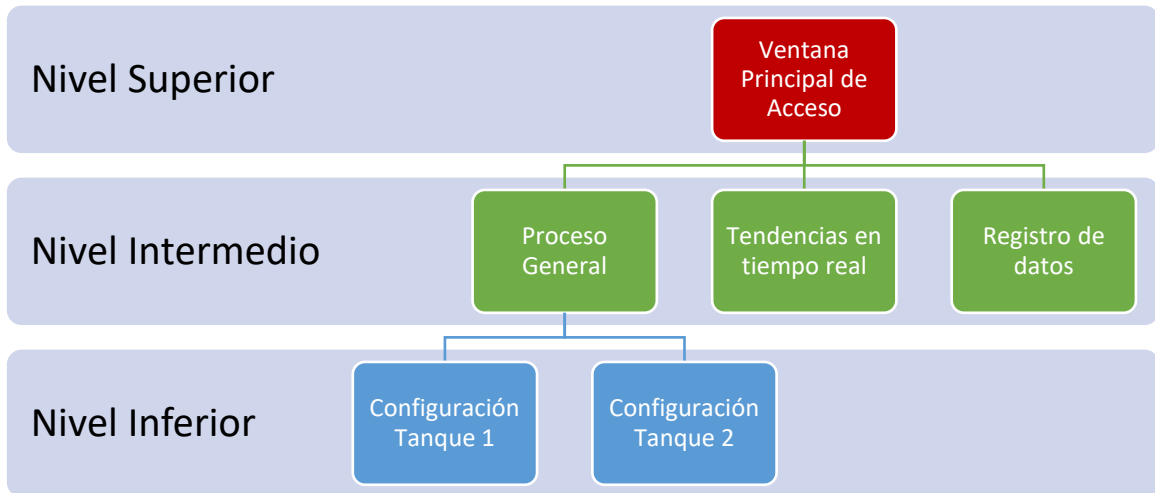
## **2.3 EMULACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL**

La mejor manera de probar el funcionamiento completo del servidor web del PLC S7-1200 es mediante la emulación de un proceso industrial, permitiendo observar al mismo tiempo el proceso en un HMI y a su vez en una estructura física.

En este caso se planteó el proceso de control de nivel de agua de dos tanques interconectados, donde en un tanque se puede establecer una consigna de nivel que podrá ser modificada desde el HMI y en el segundo tanque únicamente se monitorea el nivel,

permitiendo la transferencia de agua entre los tanques por medio de dos bombas, las cuales se activarán de acuerdo a la programación establecida.

El HMI utilizado presenta tres niveles de navegación como se muestra en la Figura 2.2, de manera que el usuario puede desplazarse entre dichos niveles mediante un menú, el menú de navegación permite un desplazamiento entre niveles consecutivos, es decir no se puede saltar del nivel superior al nivel inferior, sin pasar antes por el nivel intermedio.



**Figura 2.2.** Arquitectura de navegación del HMI

El nivel superior cuenta únicamente con la ventana principal del HMI, siguiendo la plantilla mostrada en la Figura 2.3, la pantalla consta de dos parámetros de escritura, permitiendo verificar tanto el usuario como la contraseña, en caso de ser correctas autoriza el acceso al nivel intermedio del HMI y en caso de que el usuario o la contraseña sean incorrectas, saltará un aviso de error de usuario.



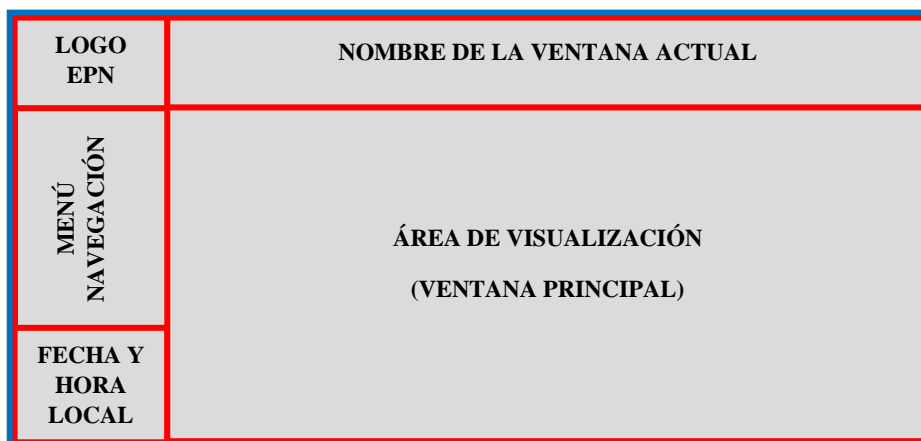
**Figura 2.3.** Plantilla de ventana nivel superior

El nivel intermedio sigue la estructura de la plantilla mostrada en la Figura 2.4, donde se cuenta con tres opciones de navegación, siendo estos el proceso general, tendencias en tiempo real y un registro de datos.

La ventana de proceso general muestra el nivel de ambos tanques, así como la activación de las bombas y alarmas mediante indicadores; además presenta botones de marcha y paro a modo de iniciar o detener el control de nivel. En esta ventana también se presentan dos botones para acceder al nivel inferior

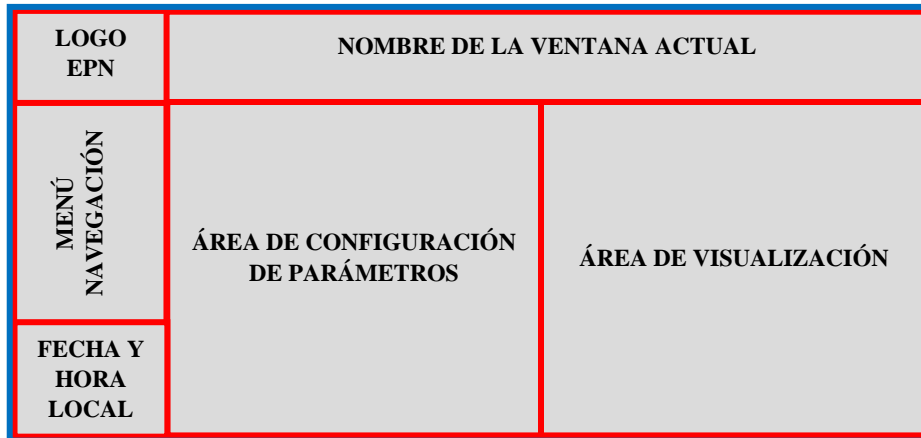
La ventana de tendencias en tiempo real grafica el estado de dos variables, estas variables se eligen por el usuario y se muestran en un historiador de diez posiciones temporales.

La opción de registro de datos permite descargar un archivo tipo CSV con una cantidad determinada de registros, donde se muestran los cambios de variables, así como también la fecha y hora de cada registro.



**Figura 2.4.** Plantilla de ventana nivel intermedio

Por último, el nivel inferior sigue la estructura de la plantilla mostrada en la Figura 2.5, consta de las configuraciones de cada tanque, se accede a este nivel mediante la ventana de proceso general, en estas ventanas se realiza las configuraciones de los parámetros máximos y mínimos de los tanques, y se presenta una vista independiente de cada tanque, así como de cada bomba.



**Figura 2.5.** Plantilla de ventana nivel inferior

## 2.4 DISEÑO DEL HMI CON FORMATO WEB


El estructura del HMI sigue la arquitectura de navegación y diseño establecido anteriormente, se utiliza tecnologías web (HTML, CSS y JavaScript), con la finalidad de que el HMI pueda ser interactivo para el usuario.






Si bien el diseño de una página web se lo puede realizar en varios programas o incluso en “Bloc de Notas”, para el diseño se utilizó el software “Visual Studio Code”.

Debido a las limitaciones de memoria dedicadas al servidor web por parte del PLC S7-1200 se debe reducir en gran medida los recursos destinados al diseño, estos recursos en gran medida se consumen por el tamaño de las imágenes requeridas en el proceso, razón por la cual se optó por diseñar cada una de ellas en el software de diseño “Adobe Illustrator”.

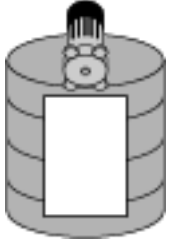

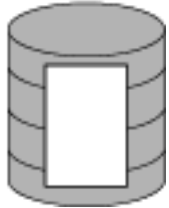

Todos los elementos diseñados se detallan en la Tabla 2.1, cada una de las imágenes son de tipo PNG, ya que no se requiere de un fondo en ellas, además el peso total al sumar cada una de las imágenes no supera los 21[KB], siendo esto un peso muy por debajo del límite de memoria que permite el servidor web.

**Tabla 2.1.** Descripción de imágenes a utilizar en el diseño del HMI con formato web

Elementos	Descripción	Tamaño	Imagen diseñada
Logo de la Escuela Politécnica Nacional	Diseño del logotipo de la institución utilizado en cada ventana del proceso.	5,41[KB]	

Ícono de inicio	Diseño utilizado en el menú de navegación del nivel intermedio del proceso para acceder a la ventana principal de acceso.	0,996[KB]	
Ícono de proceso general	Diseño utilizado en el menú de navegación del nivel intermedio y nivel inferior para acceder a la ventana de proceso general.	1,37[KB]	
Ícono de tendencias	Diseño utilizado en el menú de navegación del nivel intermedio para acceder a la ventana de tendencias en tiempo real.	1,07[KB]	
Ícono de registro de datos	Diseño utilizado en el menú de navegación del nivel intermedio para descargar un archivo CSV con los registros de cambios de variables.	1,40[KB]	
Ícono de configuración tanque 1	Diseño utilizado en el menú de navegación del nivel inferior para acceder a la configuración de parámetros del tanque 1.	1,12[KB]	
Ícono de configuración de tanque 2	Diseño utilizado en el menú de navegación del nivel inferior para acceder a la configuración de parámetros del tanque 2.	1,18[KB]	
Indicador visual de funcionamiento encendido	Diseño utilizado para visualizar el estado encendido de una variable en el proceso.	1,05[KB]	
Indicador visual de funcionamiento apagado	Diseño utilizado para visualizar el estado apagado de una variable en el proceso.	0,844[KB]	



Tanque con bomba de agua	Diseño utilizado para visualizar el nivel de un tanque y la activación de su respectiva bomba.	2,68[KB]	
Relleno de nivel	Relleno de color utilizado para representar el nivel de cada tanque mediante la variación de su altura.	0,181[KB]	
Tanque individual sin bomba	Diseño utilizado para representar el nivel individual de cada tanque.	1,79[KB]	
Bomba de agua	Diseño utilizado para representar la activación individual de cada bomba del proceso.	1,68[KB]	

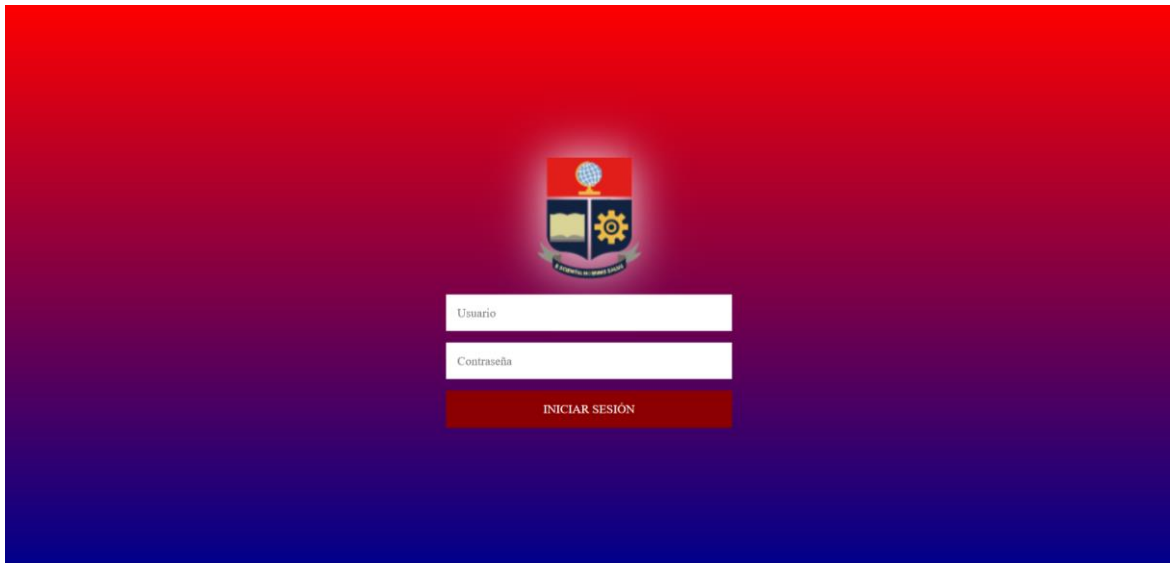
#### 2.4.1 DISEÑO DE VENTANA PRINCIPAL DE ACCESO

La ventana principal sigue la plantilla mostrada en la Figura 2.3, esta ventana contiene el acceso hacia el HMI, de manera que únicamente quienes tengan las credenciales de “Usuario” y “Contraseña” ingresen a la ventana de proceso.

Además de los bloques de ingreso de credenciales, esta ventana también muestra el ícono de la institución y un botón de inicio de sesión que permite el ingreso.

El diseño mostrado en la Figura 2.6, requirió el uso de las tres tecnologías web mencionadas anteriormente, donde HTML permitió estructurar correctamente los elementos necesarios como el nombre de la institución, el logo de la institución, los bloques de ingreso de texto y el botón de inicio de sesión, a dichos elementos se les asignó una identificación mediante clases, ya que esto facilita el uso de los lenguajes CSS y JavaScript.

El uso de CSS permitió ubicar correctamente los elementos, además de asignar estilos y colores a las letras, asignar un resplandor en la imagen de la institución y un fondo de pantalla con degradado de dos colores. Las modificaciones de las clases se las realizó en un archivo aparte, siendo este archivo llamado en la cabecera inicial del código HTML.

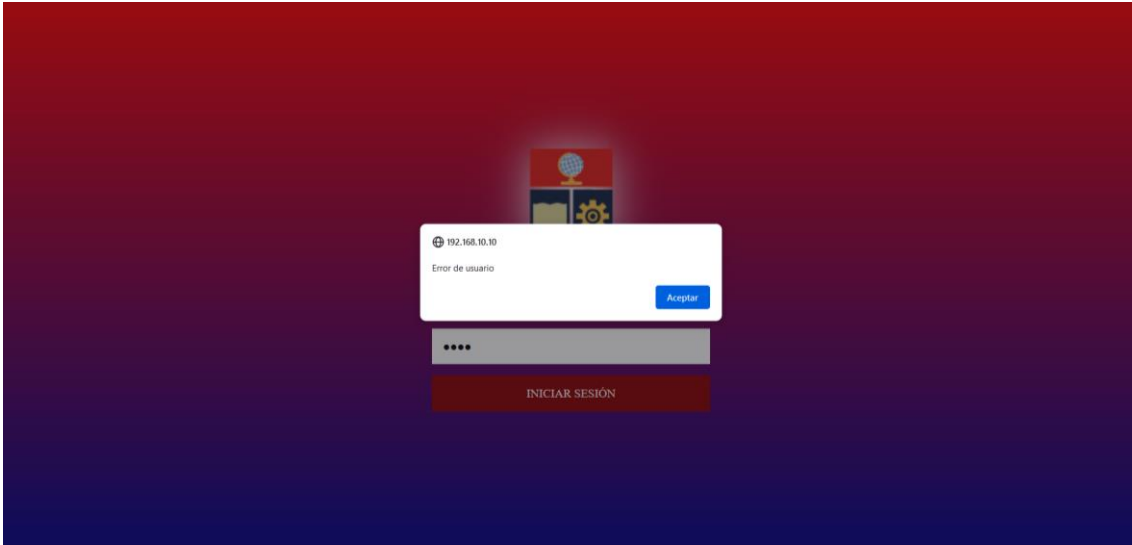


**Figura 2.6.** Ventana principal de acceso

Por último, el uso de JavaScript permitió la verificación de las credenciales mediante una función de comparación con los datos ingresados en los bloques de texto, de manera que se acceda a la ventana del proceso si estos son correctos o, que envíe una alerta con un mensaje de “Error de usuario” como se puede observar en la Figura 2.7. Las credenciales utilizadas de ingreso son:

- Usuario: admin
- Contraseña: 1234

Si bien es posible llamar a la función de comparación desde otro archivo, en este caso el código se lo añadió mediante una etiqueta “Script” en el mismo código HTML, esto únicamente porque las páginas van dirigidas hacia una práctica de laboratorio y es posible que las credenciales sean desconocidas totalmente para el usuario, bastará con inspeccionar la página para visualizar las credenciales y poder acceder al proceso.



**Figura 2.7.** Mensaje de error de usuario en la ventana de principal de acceso

## 2.4.2 DISEÑO DE VENTANA PROCESO GENERAL

La ventana del proceso general sigue la plantilla mostrada en la Figura 2.4, esta ventana contiene inicialmente el logo de la institución, y a su derecha el nombre de la ventana además presenta el menú de navegación en el borde izquierdo con el cual se puede desplazar a otras ventanas del HMI, y en la parte inferior se presenta un reloj con la hora y fecha local.

La hora y fecha local se las adquiere directamente desde el PLC, para lograr esto es necesario utilizar el bloque RD\_LOC\_T (lectura de tiempo local), este bloque genera un bloque de datos con cada parámetro de tiempo, entre los cuales se encuentran: año, mes, día, día de la semana, hora, minuto, segundo y nanosegundo.

Por la facilidad de lectura de variables que presenta el servidor web, fácilmente se puede llamar a las variables de tiempo deseadas directamente desde el bloque de datos generado, en este caso se lee las variables de año, mes, día, hora, minuto y segundo.

El diseño mostrado en la Figura 2.9, requirió el uso de únicamente HTML y CSS, siendo HTML la tecnología web que permitió añadir cada elemento a la ventana, para los indicadores visuales de funcionamiento se requirió únicamente de llamar varias veces a las imágenes detalladas en la Tabla 2.1.

Cada elemento dentro de la ventana presenta su respectivo nombre de clase, el cual permite la modificación de sus parámetros de localización y características, cada clase se editó en un archivo tipo CSS aparte, siendo el mismo archivo que contiene las modificaciones hechas en la ventana principal del proceso.

En el área de visualización nos encontramos con pulsadores de marcha y paro, con los cuales se puede controlar la activación del proceso y detenerlo en caso de requerirlo. Para lograr esto se realiza la escritura de variables mediante la acción "POST", esta acción se realiza directamente con los botones creados mediante HTML.

Los botones creados en HTML presentan la siguiente estructura:

```
<form method="post" action="">  
    <input type="submit" value="Texto_sobre_botón">  
    <input type="hidden" name="Nombre_de_variable" value="1">  
</form>
```

**Figura 2.8.** Estructura para escritura de variables booleanas

Mediante esta estructura se crea un botón el cual permite modificar el valor de una variable booleana en el proceso, como se puede apreciar en la Figura 2.8 se presentan dos parámetros a modificar, siendo estos el texto que presentará el botón y también el nombre de la variable que cambiará su valor, ya sea cero o uno.

Además, se presenta dos pulsantes para dirigir al usuario a la configuración de los parámetros de cada tanque, cada configuración será realizada en las páginas creadas en el nivel inferior de la arquitectura del proceso.

En el extremo derecho se tiene una representación de los dos tanques, con indicadores visuales para mostrar la activación de las bombas o la activación de las alarmas de nivel bajo o alto en cada tanque. El nivel de cada tanque se lo aprecia con un indicador de valor numérico y también visualmente con el llenado de un espacio en cada tanque.

La manera más fácil para alternar entre los indicadores visuales es añadiendo al menos un dígito booleano en el nombre de la imagen, es decir la imagen del indicador visual desactivado lleva el nombre de "luz\_000.png" y la imagen del indicador visual activado lleva el nombre de "luz\_001.png".

Para alternar entre los indicadores visuales activados y desactivados se realiza la lectura de la variable correspondiente y se ubica dicha variable en el nombre de la imagen, es decir la variable asignada reemplaza al último dígito del nombre de la imagen de la siguiente forma:

luz\_00:="Nombre\_de\_variable":.png

De esta manera la imagen mantiene las características de dimensión y ubicación y únicamente alterna el archivo de la imagen de acuerdo a los cambios en la variable asignada, como se pudo apreciar se mantiene la estructura de caracteres para leer la variable.

En el caso del relleno de nivel ubicado en cada tanque, su variación requiere de leer la variable correspondiente y asignar dicha variable a la característica de altura de la figura, de manera que varíe directamente proporcional a dicha variable. Lograr dicha proporcionalidad no es automática en una estructura HTML, ya que la altura de las imágenes varía de arriba hacia abajo.

La altura de la imagen de relleno se la modifica mediante el comando height de la siguiente forma:

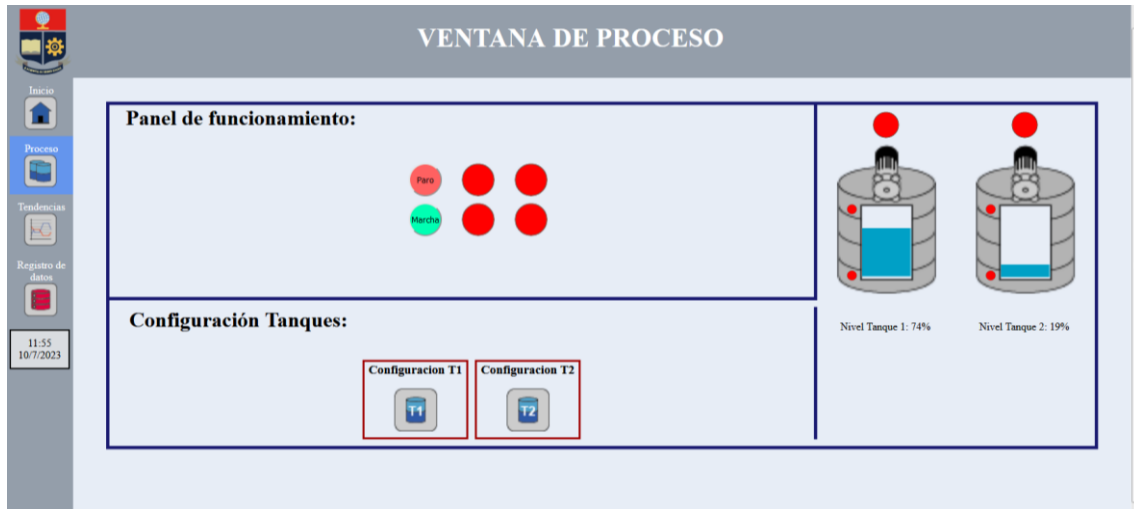
```
height=":"Nombre_de_variable":px"
```

Mientras que, para lograr el crecimiento de abajo hacia arriba, fue necesario hacer uso de la función "calc()" la cual viene incorporada en CSS, dicha función permite realizar operaciones matemáticas para realizar ajustes de dimensiones o posiciones dentro de la página web.

Se planteó la siguiente ecuación:

$$\text{margin-top: calc}(100px + (100px - \text{Nombre\_de\_variable: px})); \quad (2.1)$$

De manera que se genera un margen superior en el relleno del tanque, como se puede apreciar en la ecuación 2.1, si la variable presenta un valor de cero, entonces el margen será de 200px y si la variable presenta un valor máximo de cien, entonces el margen será de 100px. Debido a los cambios en la altura por la misma variable, visualmente se logra un llenado de abajo hacia arriba.



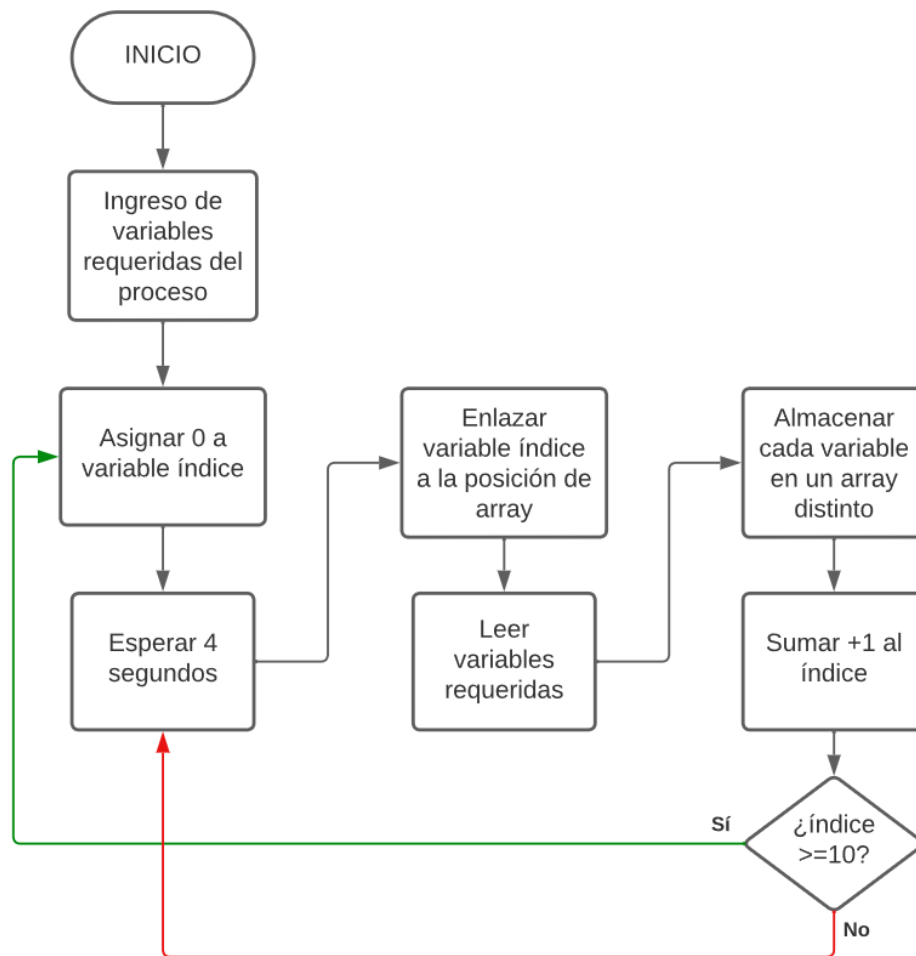
**Figura 2.9.** Ventana de proceso general

### 2.4.3 DISEÑO DE VENTANA DE TENDENCIAS EN TIEMPO REAL

La ventana de tendencias en tiempo real, al igual que la ventana de proceso general, sigue la plantilla mostrada en la Figura 2.4, esta ventana mantiene la misma estructura con la diferencia que en el área de visualización se presenta una gráfica donde se puede observar los cambios en las variables analógicas del proceso, donde dichas variables pueden ser seleccionadas.

Los datos que se pueden observar en la gráfica se los llama directamente desde el PLC, para esto fue necesario crear un registro de seguimiento de datos, siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 2.10, el cual almacena los cambios en las variables en posiciones de arreglos de datos cada cierto tiempo establecido.

En este caso se almacenan diez datos por cada variable, de manera que cada variable requiere su propia arreglo, luego en la página web se lee directamente las posiciones de cada arreglo y se grafica las variables.



**Figura 2.10.** Diagrama de flujo para registro de seguimiento continuo de 10 datos

La gráfica fue realizada utilizando una interfaz de programación de aplicaciones (API) mediante la biblioteca Morris.js para dibujar líneas, anillos, barras o áreas, el funcionamiento de esta biblioteca requiere el uso de dos bibliotecas adicionales jQuery.js y Raphael.js.

La biblioteca de código abierto jQuery.js está basada en JavaScript, es principalmente utilizada para gestionar animaciones o eventos dentro de una página web facilitando en gran medida el desarrollo de varias aplicaciones web.

Mientras que la biblioteca Raphael.js se enfoca en el manejo y visualización de vectores, además de facilitar las propiedades gráficas de los mismos, como pueden ser el tamaño, posición o colores de los mismos.

La biblioteca Morris.js internamente utiliza como base tanto a jQuery.js como Raphael.js, de manera que se facilita su uso en cualquier diseño de páginas web, otra de las ventajas

que provee con respecto a otras API de diseño de gráficas es su tamaño, siendo esta la principal razón para ser utilizada.

En muchas páginas web al estar siempre en la red, es común llamar y utilizar a las API sin necesidad de descargar los archivos necesarios para el funcionamiento de las API, pero esto en el servidor web del PLC S7-1200 no siempre es posible, ya que dependerá siempre de la conexión a internet, mas no de la conexión entre los dispositivos en la red de área local.

Por esta razón se tuvo que descargar los archivos, es decir cada una de las bibliotecas necesarias para su uso, añadirlos a la carpeta de archivos de la página web y llamarlos directamente desde la página web a partir de su ubicación dentro de la carpeta.

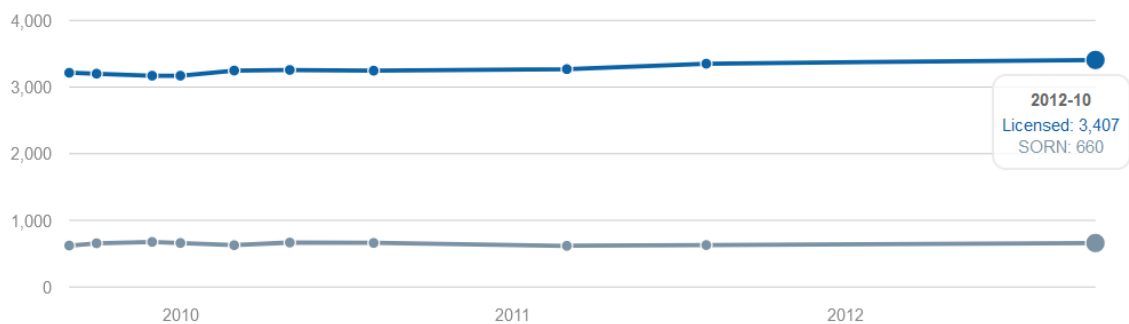
Las tres bibliotecas mencionadas presentan una versión extendida y una versión simplificada, donde la principal diferencia es el tamaño de dichos archivos, debido a que el servidor web del PLC S7-1200 no presenta una memoria muy extensa, se utilizó las tres bibliotecas en su versión simplificada.

El uso de Morris.js es bastante intuitivo, además de presentar varios ejemplos de gráficas en la página web del desarrollador, los pasos requeridos para su uso son los siguientes:

1. Añadir las bibliotecas jQuery.js, Raphael.js y Morris.js a la misma carpeta donde se localizan los archivos de diseño de la página web.
2. Llamar a las bibliotecas simplificadas dentro de la página web diseñada.
3. Se definió una nueva clase y se le asignó un nombre, en este caso el nombre utilizado fue "grafica"
4. El Script llama a la función "Morris.Line", esta función se utiliza ya que el gráfico será de líneas, pero entre las posibles opciones también se encuentran anillos, barras o áreas.
5. La función necesita obligatoriamente el uso y la configuración de cinco parámetros siendo estos: "element", "data", "xkey", "ykeys" y "labels".
  - a. Element: este parámetro se encarga de vincular la clase "grafica" creada previamente en el numeral 3.
  - b. Data: este parámetro se encarga de los datos a ser graficados, siendo un arreglo tanto para los parámetros en X como en Y.



- c. Xkey: este parámetro se encarga del valor de los datos en el eje X, se lo puede asociar directamente al parámetro “data”.
- d. Ykeys: este parámetro se encarga del valor de los datos en el eje Y, se lo puede asociar directamente al parámetro “data”, este parámetro permite graficar más de una variable al mismo tiempo.
- e. Labels: este parámetro se encarga del nombre de la gráfica mostrada, permitiendo además una visualización del valor de la variable al acercarse el puntero del mouse a la posición deseada.



```

/* data stolen from http://howmanyleft.co.uk/vehicle/jaguar_'e'_type */
var month_data = [
  {"period": "2012-10", "licensed": 3407, "sorned": 660},
  {"period": "2011-08", "licensed": 3351, "sorned": 629},
  5. {"period": "2011-03", "licensed": 3269, "sorned": 618},
  {"period": "2010-08", "licensed": 3246, "sorned": 661},
  {"period": "2010-05", "licensed": 3257, "sorned": 667},
  {"period": "2010-03", "licensed": 3248, "sorned": 627},
  {"period": "2010-01", "licensed": 3171, "sorned": 660},
  10. {"period": "2009-12", "licensed": 3171, "sorned": 676},
  {"period": "2009-10", "licensed": 3201, "sorned": 656},
  {"period": "2009-09", "licensed": 3215, "sorned": 622}
];
15. Morris.Line({
  element: 'graph',
  data: month_data,
  xkey: 'period',
  ykeys: ['licensed', 'sorned'],
  labels: ['Licensed', 'SORN'],
  20. smooth: false
});

```

**Figura 2.11.** Ejemplo de gráfica con el uso de Morris.js

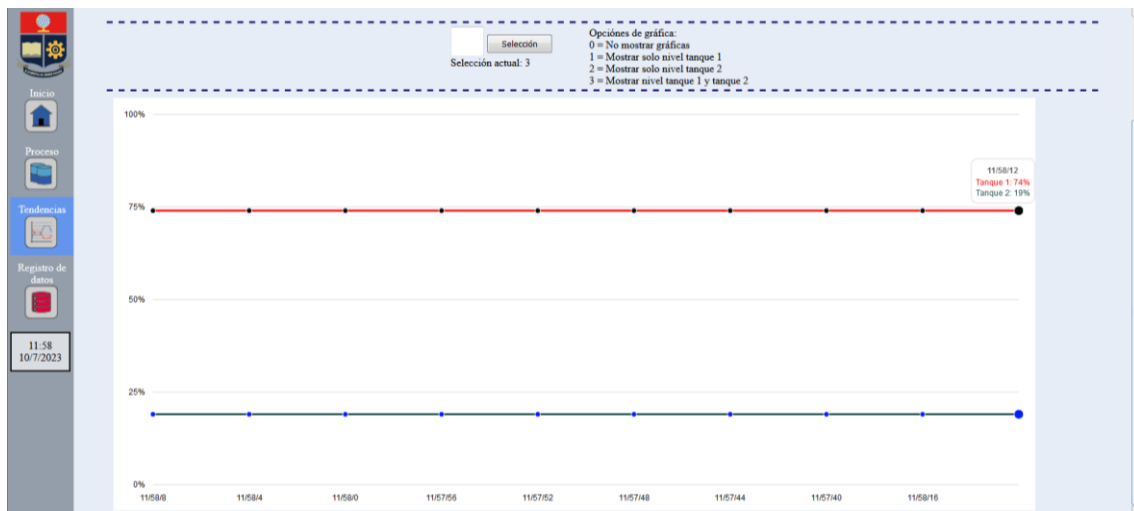
La Figura 2.11 presenta un ejemplo de una implementación gráfica de líneas con el uso de Morris.js y el código utilizado para dicha gráfica.

En la página web del desarrollador también se presentan otras opciones con posibilidad de ser configuradas, dichas opciones permiten mejorar la experiencia visual de la gráfica, ya que permiten modificar las escalas de los ejes, los colores de líneas, los espacios entre los datos, entre otros.

Para la página web diseñada dentro del servidor web del PLC S7-1200 se hizo uso del espacio disponible en el área de visualización mostrada en la plantilla de la Figura 2.4, donde los valores de los parámetros del eje X y el eje Y se los obtiene directamente de la lectura de variables del PLC.

Cada valor a ser utilizado proviene de la lectura de los registros de seguimiento de datos, los mismos que fueron creados siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 2.10.

La Figura 2.12 presenta el diseño completo de la ventana de tendencias en tiempo real.



**Figura 2.12.** Ventana de tendencias en tiempo real

#### 2.4.4 DISEÑO DE REGISTRO DE DATOS

Culminando el nivel intermedio de la arquitectura de navegación del HMI planteada en la Figura 2.2, se requiere el diseño de un registro de datos, los PLC S7-1200 presentan bloques de instrucciones que facilitan el almacenamiento de valores de datos mediante archivos de registro.

Debido a que el acceso a los archivos generados se los realiza directamente dentro del servidor web, únicamente se requiere el uso de dos bloques de instrucciones, siendo estos “DataLogCreate” y “DataLogWrite”, ambos bloques de instrucciones requieren de parámetros de entrada, los cuales por facilidad se pueden configurar mediante la creación de bloques de datos.

El bloque de instrucciones “DataLogCreate” permite la creación de un archivo CSV (valores separados por coma), entre sus configuraciones se encuentran la cantidad de datos a ser registrados, el formato del archivo (soportado únicamente CSV), añadir la fecha y hora

UTC, el nombre del archivo, la identificación del archivo, el nombre de las columnas a ser mostradas y por último los datos a ser registrados.

El bloque de instrucciones “DataLogWrite” permite controlar los intervalos entre cada dato registrado, únicamente presenta dos configuraciones, la primera es una instrucción de funcionamiento la cual controla el registro de datos con cada flanco de subida, la segunda configuración permite enlazar este bloque con el bloque “DataLogCreate” por medio de la identificación del archivo.

En este proceso se registran 30 datos, el intervalo entre cada registro es de diez segundos, y las variables a ser registradas son los niveles en cada tanque y las activaciones de cada bomba. Por el funcionamiento de los bloques de registro de datos, una vez se registren los 30 datos se procederán a sobrescribirse los datos más antiguos con datos más recientes.

La obtención del archivo CSV se lo realiza directamente en el servidor web del PLC S7-1200, de manera que al encontrarse la página web diseñada dentro del mismo servidor, es posible enlazar la descarga del archivo también desde la página diseñada.

Para lograr el enlace se obtuvo la dirección URL de la descarga y se la asignó al ícono de registro de datos localizado en el menú de navegación de la página web diseñada, de manera que cualquier usuario que tenga acceso al HMI podrá descargar el archivo CSV con los registros de datos en su dispositivo.

Record	Date	UTC Time	NivelT1	NivelT2	Bomba1	Bomba2
151	6/14/2023	17:56:04	66	27	0	0
152	6/14/2023	17:56:14	66	27	0	0
153	6/14/2023	17:56:24	66	27	0	0
154	6/14/2023	17:56:34	66	27	0	0
155	6/14/2023	17:56:44	66	27	0	0
156	6/14/2023	17:56:54	66	27	0	0
157	6/14/2023	17:57:04	66	27	0	0
158	6/14/2023	17:57:14	66	27	0	0
159	6/14/2023	17:57:24	66	27	0	0
160	6/14/2023	17:57:34	66	27	0	0
161	6/14/2023	17:57:44	66	27	0	0
162	6/14/2023	17:57:54	66	27	0	0
163	6/14/2023	17:58:04	66	27	0	0
164	6/14/2023	17:58:14	66	27	0	0
165	6/14/2023	17:58:24	66	27	0	0
166	6/14/2023	17:58:34	66	27	0	0
167	6/14/2023	17:58:44	66	27	0	0
168	6/14/2023	17:58:54	66	27	0	0
169	6/14/2023	17:59:04	66	27	0	0
170	6/14/2023	17:59:14	66	27	0	0
171	6/14/2023	17:59:24	66	27	0	0
172	6/14/2023	17:59:34	66	27	0	0
143	6/14/2023	17:54:44	66	27	0	0
144	6/14/2023	17:54:54	66	27	0	0
145	6/14/2023	17:55:04	66	27	0	0
146	6/14/2023	17:55:14	66	27	0	0
147	6/14/2023	17:55:24	66	27	0	0
148	6/14/2023	17:55:34	66	27	0	0
149	6/14/2023	17:55:44	66	27	0	0
150	6/14/2023	17:55:54	66	27	0	0

Figura 2.13. Archivo CSV importado en Excel

La Figura 2.13 muestra al archivo CSV generado mediante servidor web importado en un archivo de Excel, esto se lo realiza para obtener una mejor visualización de los datos registrados, como se puede apreciar se tienen un total de 30 registros, los cuales se toman en intervalos de 10 segundos y los datos más actuales reemplazan continuamente a los registros más antiguos.

#### 2.4.5 DISEÑO DE VENTANAS DE CONFIGURACIÓN

Las ventanas de configuración corresponden al nivel inferior de la arquitectura de navegación del HMI planteada en la Figura 2.2, en este nivel se presentan dos ventanas, las cuales mantienen el mismo diseño como se puede apreciar en las Figura 2.15 y Figura 2.16, cada ventana está destinada a la configuración de parámetros para cada uno de los tanques del proceso.

Siguiendo la plantilla mostrada en la Figura 2.5 esta ventana también posee un menú de navegación, con la diferencia que únicamente permite el desplazamiento entre niveles consecutivos, es decir entre el proceso general y la configuración de cada tanque. La ventana posee dos áreas, siendo estas el área de configuración de parámetros y el área de visualización.

El área de configuración de parámetros permite modificar los valores máximos y mínimos de nivel permitidos en el tanque, esto para evitar que el tanque supere su nivel máximo y además evita que las bombas funcionen en vacío.

Los valores se modifican escribiendo los valores numéricos deseados directamente desde el HMI en el PLC, para lograr esta escritura se utiliza el formato de la Figura 2.14:

```
<form method="post" action="" onsubmit="return check();">
    <input type="text" name=""Nombre_de_variable"" size="2">
    <input type="submit" value="Texto_sobre_botón">
</form>
```

**Figura 2.14.** Estructura para escritura de variables enteras

Además, debajo de cada formulario de escritura, se hace la lectura de la misma variable escrita, esto con la finalidad de que el usuario pueda conocer los valores que estuvieron asignados a cada variable previamente.

Las áreas de configuración de parámetros son similares para las ventanas de cada tanque, pero únicamente la ventana destinada al primer tanque presenta la opción de configurar la consigna de nivel de dicho tanque.

El área de visualización presenta una vista individual de las alarmas y el nivel de cada tanque, así como también de la activación de cada bomba, la estructura del diseño es similar a la utilizada en la ventana del proceso general, mostrando indicadores visuales asociados a variables y también el relleno del tanque asociado al nivel actual del mismo.

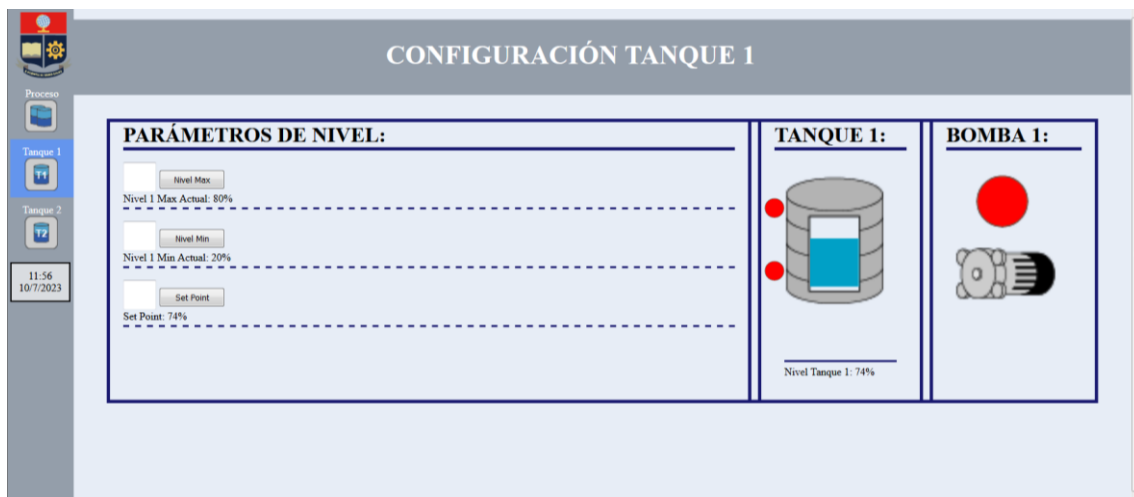


Figura 2.15. Ventana de configuración Tanque 1



Figura 2.16. Ventana de configuración Tanque 2

## **2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO**

El primer paso para utilizar el servidor web en un PLC S7-1200 es estableciendo una red de área local, en este caso se utilizará la red del Laboratorio de Redes Industriales, la cual permite la comunicación entre un PLC S7-1200 y computadoras con el software TIA Portal para programación del PLC.

Siguiendo la estructura inicial mostrada en la Figura 2.1 lo primero que se necesita es cargar el programa completo en el PLC, el programa debe tener habilitado el servidor web, contener los bloques de datos referentes al diseño del HMI y la programación del proceso a ser emulado.

### **2.5.1 HABILITACIÓN Y PROTECCIÓN DEL SERVIDOR WEB**

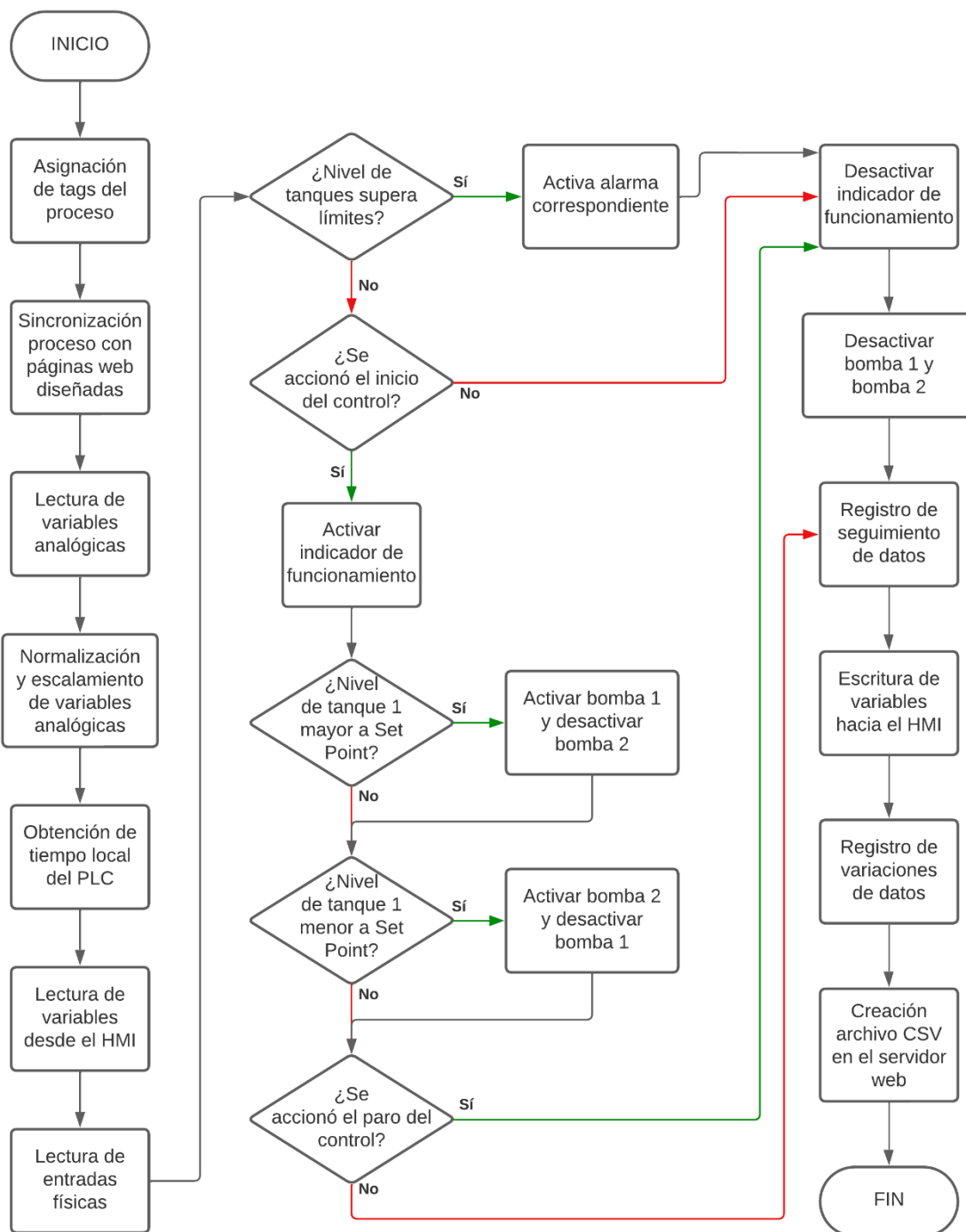
Los pasos para habilitar el servidor web en un PLC se los detalla en el Anexo I, de manera que se permita tanto el acceso al servidor web como también las configuraciones necesarias para cargar las páginas web diseñadas por el usuario, es decir la aplicación de software tipo HMI.

Los recursos completos del servidor web vienen restringidos por un acceso de usuario, de manera que, si alguien no posee las credenciales de seguridad, podrá ingresar al servidor web, pero su experiencia será limitada, la configuración requerida para la seguridad y protección del servidor web se la detalla en el Anexo II, entre las restricciones que se presentan al no iniciar sesión en el navegador se encuentran las siguientes:

- Limpiar o borrar el registro de datos.
- Modificar el estado de variables en una página web creada por el usuario.

### **2.5.2 PROGRAMACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL**

La programación del proceso industrial se la realiza completamente en el software TIA Portal, el lenguaje de programación utilizado es Ladder ya que este lenguaje permite el uso de bloques de instrucciones necesarios en el proceso, además de permitir la creación de nuevos bloques por el usuario.



**Figura 2.17.** Diagrama de flujo de la programación utilizada

La Figura 2.17 muestra el diagrama de flujo utilizado en la programación del PLC, mostrando las principales acciones que se realizan en todo el proceso.

El proceso inicia asignando nombres a las variables del proceso mediante tags, tanto para variables de comunicación como para variables reales del proceso, a continuación, se sincroniza el proceso con el HMI diseñado mediante el bloque de instrucciones WWW (SFC9).

Debido a que la emulación del proceso requiere de monitorear continuamente el nivel de los tanques se hace uso de las entradas analógicas del PLC, para poder utilizar dichas entradas es necesario normalizarlas y escalarlas a un rango de 0 a 100%.

Como se mencionó en el diseño de las ventanas de páginas web, es necesario leer la fecha y hora local, razón por la cual se utiliza el bloque RD\_LOC\_T (lectura de tiempo local) dentro de la programación.

Los cambios en las lecturas de variables desde el HMI y las entradas físicas se monitorean constantemente, ya que dependiendo de sus estados o valores se realiza el control del proceso.

El primer monitoreo se enfoca en los límites de nivel mínimos y máximos de cada tanque, de manera que el nivel actual no sobrepase ninguno de estos límites, caso contrario no se podrá realizar el control de nivel.

Cumpliendo el requerimiento anterior se procede a verificar si se ha iniciado el proceso, el proceso inicia al presionar el botón de marcha ya sea en el HMI o presionando el pulsante en la estructura física.

El siguiente paso se trata de verificar el nivel del primer tanque y compararlo con el Set Point asignado desde el HMI, en caso de estar sobre el nivel se activa la bomba 1 y en caso de estar bajo el nivel se activa la bomba 2.

El programa verifica si se ha activado un paro en el proceso, el paro puede ser accionado desde el HMI o presionando el pulsante en la estructura física, en caso de presionarse el control de nivel se detiene desactivando ambas bombas y el indicador de funcionamiento.

Las entradas analógicas son almacenadas continuamente mediante el registro de seguimiento planteado en el diagrama de flujo de la Figura 2.10, esto para facilitar la adquisición de los datos en la ventana de tendencias. El siguiente paso es la escritura de todas las variables en el HMI y por último se realiza el registro de datos generando el archivo CSV con las variables más importantes del proceso.

### **2.5.3 MAPA DE MEMORIA Y ESQUEMA DE CONEXIONES**

#### **2.5.3.1 Mapa de memoria**

Las variables del proceso se las ordenó mediante el mapa de memoria descrito en la Tabla 2.2, el mismo que facilitó la asignación de Tags a la programación del proceso, el mapa de memoria contiene los nombres, tipos y direcciones tanto de las entradas y salidas físicas, como también las variables necesarias para la lectura y escritura desde el servidor web.



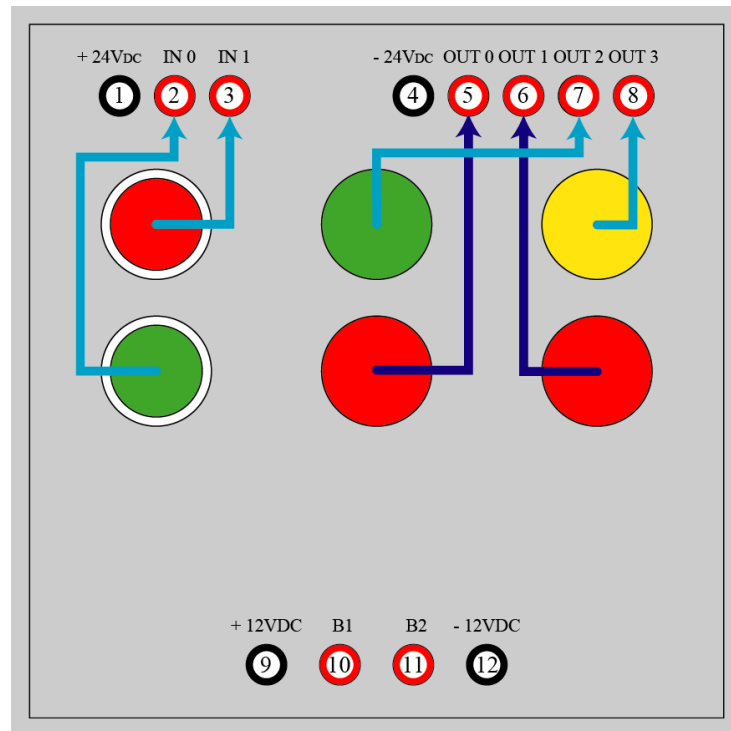
**Tabla 2.2.** Mapa de memoria del proceso

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
<b>I/O Físicas</b>			
Marcha_Local	Pulsador normalmente abierto ubicado en el tablero	Bool	%I0.0
Paro_Local	Pulsador normalmente cerrado ubicado en el tablero	Bool	%I0.1
Sensor_Nivel_1	Entrada analógica de 0[V <sub>DC</sub> ] a 10[V <sub>DC</sub> ]	Int	%IW64
Sensor_Nivel_2	Entrada analógica de 0[V <sub>DC</sub> ] a 10[V <sub>DC</sub> ]	Int	%IW66
Contactador_Bomba_1	Salida discreta 24[V <sub>DC</sub> ]	Bool	%Q0.0
Contactador_Bomba_2	Salida discreta 24[V <sub>DC</sub> ]	Bool	%Q0.1
Status_Marcha	Salida discreta 24[V <sub>DC</sub> ]	Bool	%Q0.2
Status_Paro	Salida discreta 24[V <sub>DC</sub> ]	Bool	%Q0.3
<b>I/O Comunicación Servidor Web</b>			
Marcha_HMI	Pulsador ubicado en el HMI	Bool	%M2.0
Paro_HMI	Pulsador ubicado en el HMI	Bool	%M2.1
Funcionamiento_HMI	Indicador discreto ubicado en el HMI	Bool	%M2.2
Status_Bomba_1_HMI	Indicador discreto ubicado en el HMI	Bool	%M13.0
Status_Bomba_2_HMI	Indicador discreto ubicado en el HMI	Bool	%M14.0
Status_HAL_T1	Estado de alarma de nivel alto asignado a Tanque 1	Bool	%M16.0
Status_LAL_T1	Estado de alarma de nivel bajo asignado a Tanque 1	Bool	%M17.0
Status_HAL_T2	Estado de alarma de nivel alto asignado a Tanque 2	Bool	%M18.0
Status_LAL_T2	Estado de alarma de nivel bajo asignado a Tanque 2	Bool	%M19.0
SP_Tanque_1	Set Point Tanque 1 asignado desde el HMI	Int	%MW22
HAL_Tanque_1	Alarma de nivel alto Tanque 1 asignado desde el HMI	Int	%MW24
LAL_Tanque_1	Alarma de nivel bajo Tanque 1 asignado desde el HMI	Int	%MW26
HAL_Tanque_2	Alarma de nivel alto Tanque 2 asignado desde el HMI	Int	%MW28

LAL_Tanque_2	Alarma de nivel bajo Tanque 2 asignado desde el HMI	Int	%MW30
Nivel_Tanque_1	Indicador numérico ubicado en el HMI	Int	%MW32
Nivel_Tanque_2	Indicador numérico ubicado en el HMI	Int	%MW34
Tp_grafica	Selector de gráficas	Int	%MW40

### 2.5.3.2 Esquema de conexiones

Siguiendo la estructura de las variables asociadas a las entradas y salidas físicas mostradas en el mapa de memoria de la Tabla 2.2, se realizaron las conexiones físicas al PLC mediante el uso de un tablero diseñado, el cual cuenta con pulsadores de marcha y paro, cuatro luces piloto y borneras para conectar el tablero al PLC, a la alimentación y a las bombas de agua.



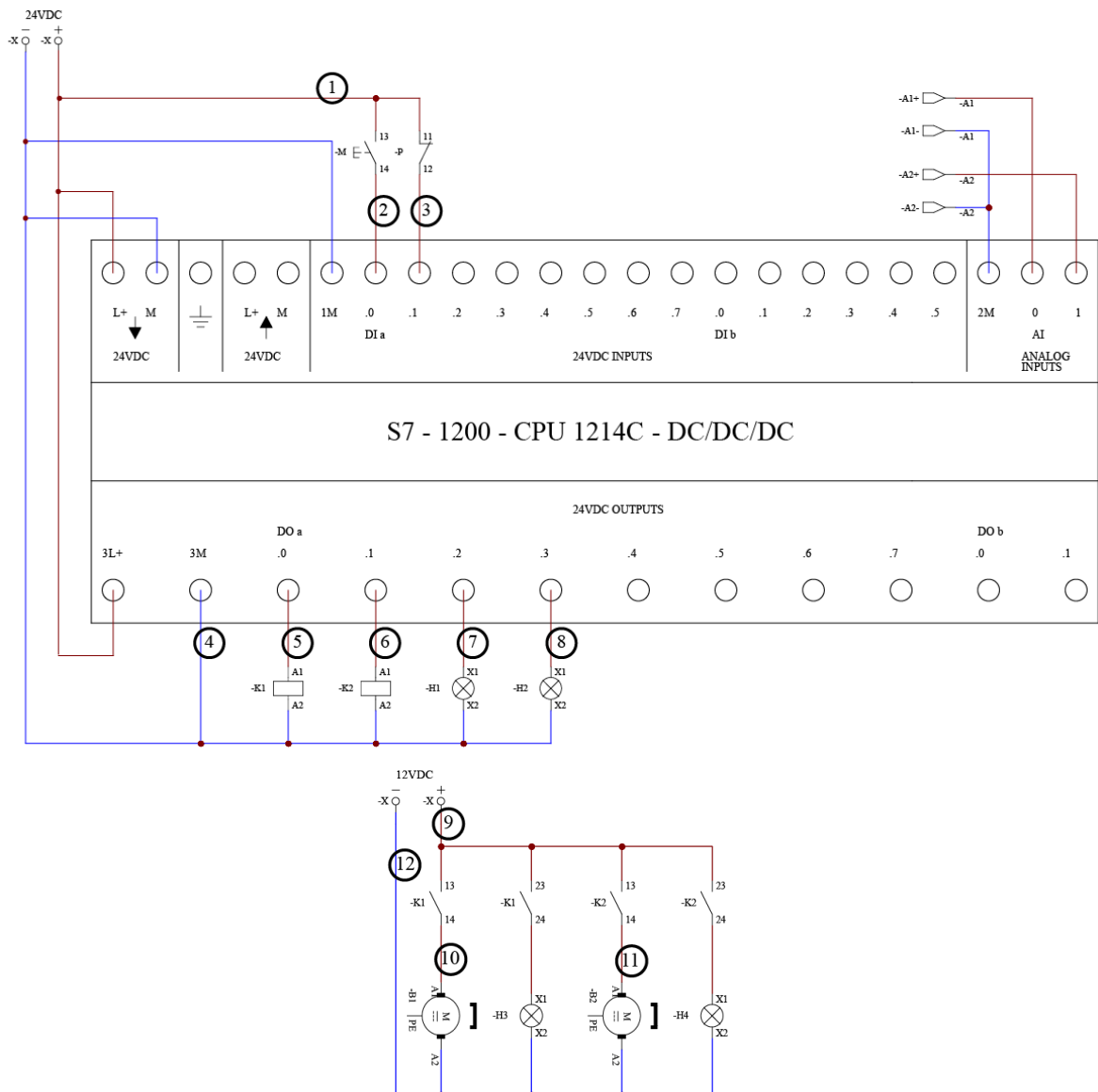
**Figura 2.18.** Vista frontal al tablero de control utilizado

La distribución de elementos del tablero se la puede apreciar en la Figura 2.18, donde se asocia cada bornera con un elemento del tablero, dentro del tablero se cuenta con dos relés de propósito general para activar tanto las bombas como las luces piloto asociadas a cada bomba.

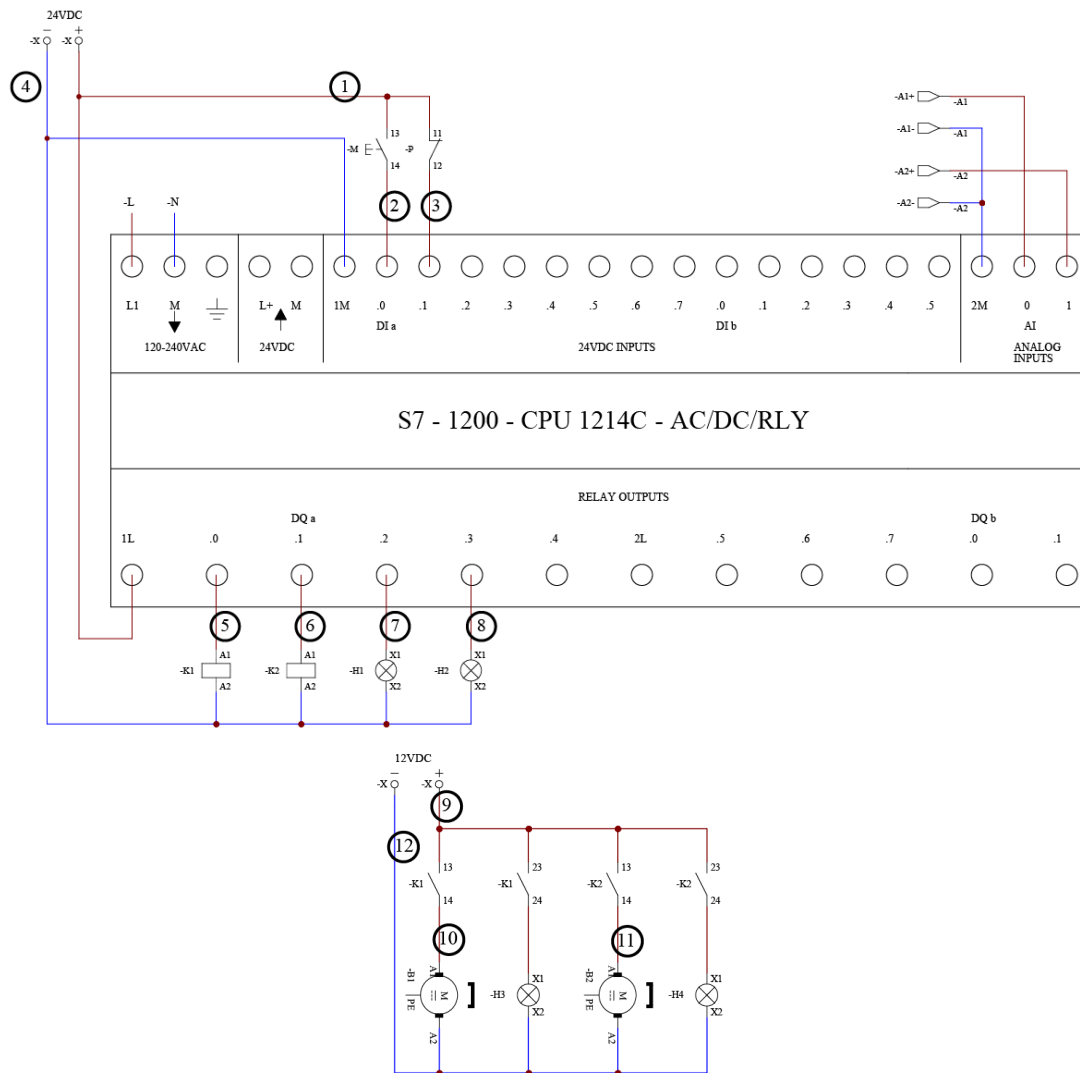
Las borneras superiores de color negro son los puntos comunes de las entradas y de las salidas respectivamente, de manera que facilita la conexión hacia el PLC. Mientras que las

borneras inferiores son las encargadas de energizar las bombas del proceso y a su vez las luces piloto asociadas a cada bomba.

Como se puede apreciar en la Figura 2.18 a cada bornera se le ha asignado un número, cada número se lo asocia al diagrama de conexiones para los PLCs. En caso de contar con un PLC Siemens S7-1200 1214C DC/DC/DC se utilizará el esquema mostrado en la Figura 2.19 y en caso de contar con un PLC Siemens S7-1200 1214C AC/DC/RLY se utilizará el esquema mostrado en la Figura 2.20, de manera que facilite la conexión de los elementos.



**Figura 2.19.** Diagrama de conexiones hacia el PLC S7-1200 DC/DC/DC



**Figura 2.20.** Diagrama de conexiones hacia el PLC S7-1200 AC/DC/RLY

Si bien en las Figuras 2.19 y en la Figura 2.20 se han utilizado fuentes de 24[V<sub>DC</sub>] y 12[V<sub>DC</sub>], los elementos del tablero permiten voltajes tanto alternos como continuos dentro de un mayor rango de valores, las características de los elementos utilizados, así como el diseño del tablero se los detalla en el Anexo III.

Por último, la estructura física también cuenta con dos tanques conectados mediante mangueras, cada tanque cuenta con su respectiva bomba de agua, la cual transporta el líquido interno de un tanque al otro.

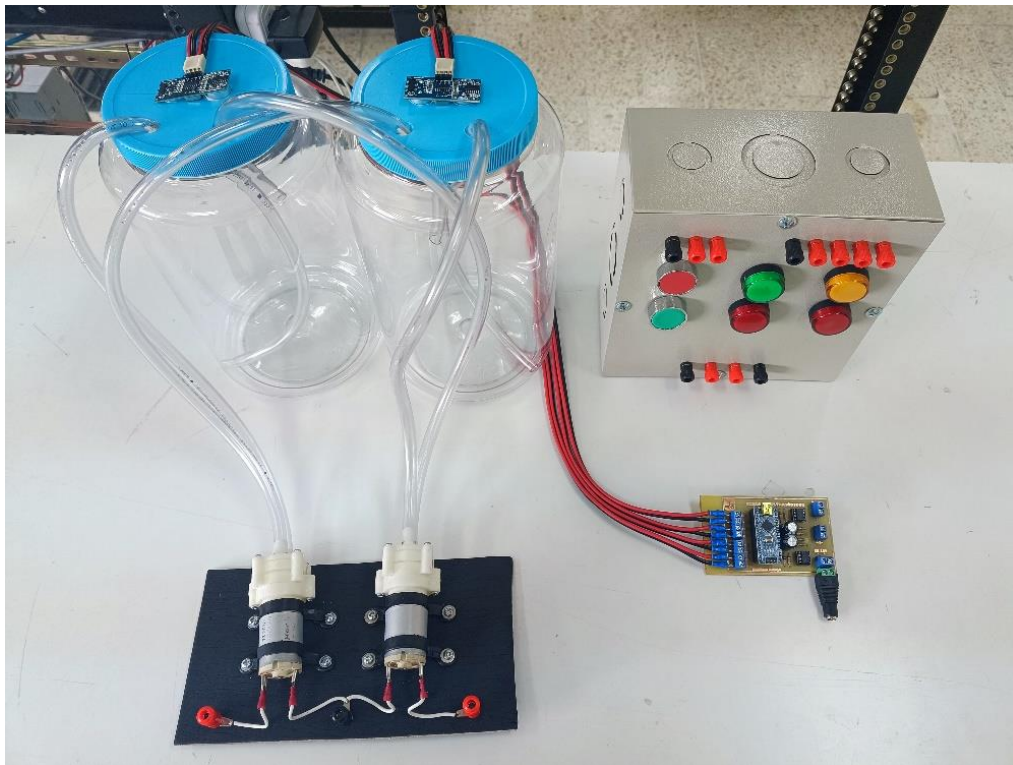
El nivel de cada tanque se lo mide mediante sensores ultrasónicos HC-SR04 utilizados comúnmente en proyectos electrónicos, para esto se ha diseñado una placa que controla ambos sensores mediante un Arduino Nano y amplifica las señales, de manera que se obtengan voltajes entre 0[V<sub>DC</sub>] y 10[V<sub>DC</sub>] y realizar su conexión directamente en las entradas analógicas del PLC, el diseño del sensor ultrasónico se detalla en el Anexo IV.

## 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.1 RESULTADOS

#### 3.1.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE HARDWARE

Los elementos de la estructura física planteada se muestran en la Figura 3.1, donde se encuentran los tanques, las bombas de agua, los sensores de nivel ultrasónicos y el tablero de control.

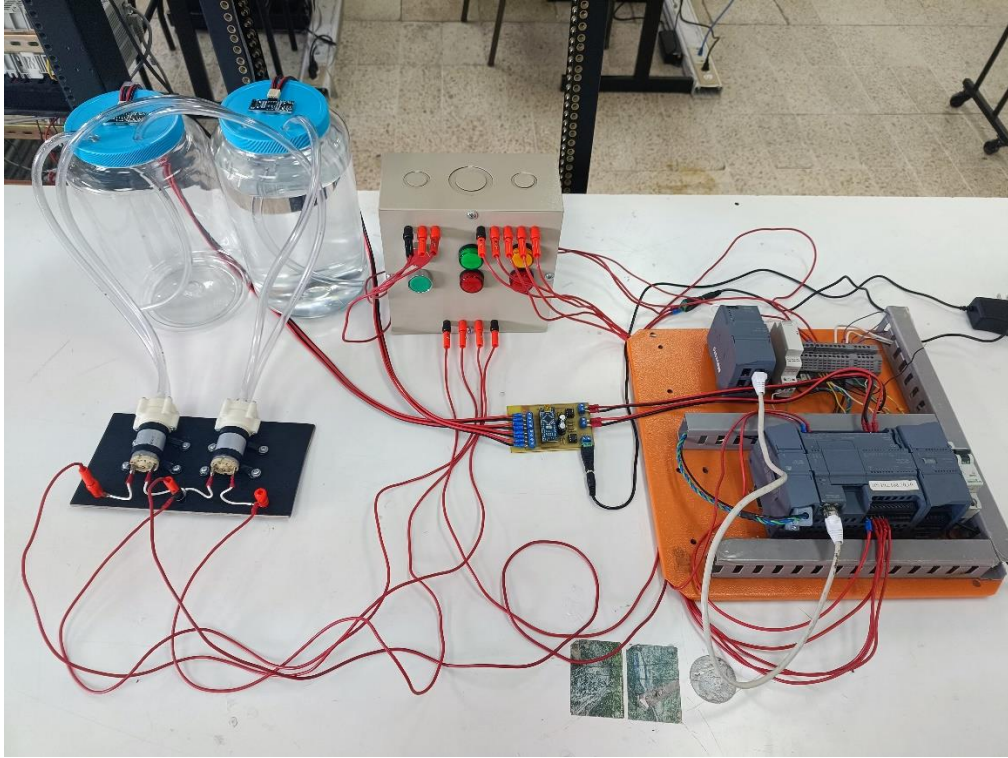


**Figura 3.1.** Elementos estructura física

Debido a que las entradas y salidas presentan elementos con un amplio rango de voltajes, en la alimentación para las luces piloto y los relés de uso general se utilizó un adaptador AC/DC genérico de 24[V<sub>DC</sub>] y 1,2[A<sub>DC</sub>].

Para la alimentación de los sensores de nivel y para las bombas de agua se utilizaron dos adaptadores AC/DC genéricos de 12[V<sub>DC</sub>] y 2[A<sub>DC</sub>], los cuales proveen el voltaje y corriente adecuado para el correcto funcionamiento de los elementos.

El cableado de los elementos se lo muestra en la Figura 3.2, con la conexión directamente hacia el PLC S7-1200 AC/DC/RLY, como el tablero de control internamente presenta dos contactores tipo relé, se pudo utilizar las bombas de agua sin forzar las salidas del PLC.



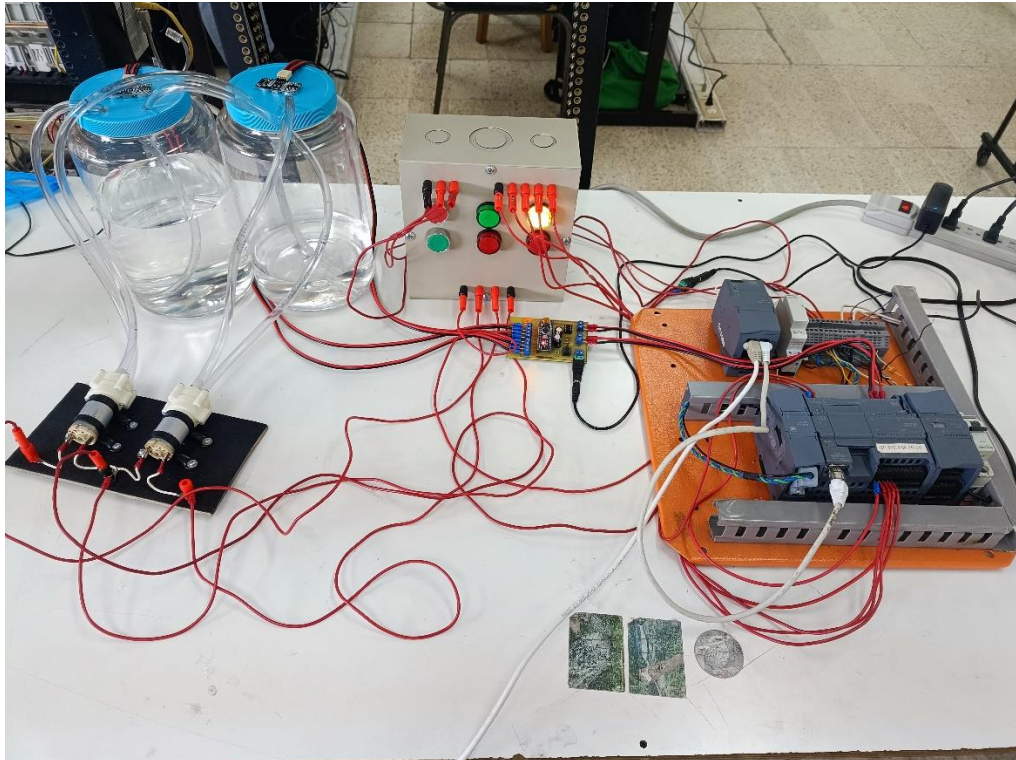
**Figura 3.2.** Conexiones de elementos estructura física en PLC S7-1200 AC/DC/RLY

### 3.1.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC

Una vez se realizaron todas las conexiones físicas, se procedió a compilar y cargar el programa desarrollado en el software TIA Portal, la lógica de programación utilizada es la mostrada en el diagrama de flujo de la Figura 2.17 en conjunto con las variables del mapa de memoria de la Tabla 2.2. Los bloques de programación utilizados se los encuentra en el Anexo V.

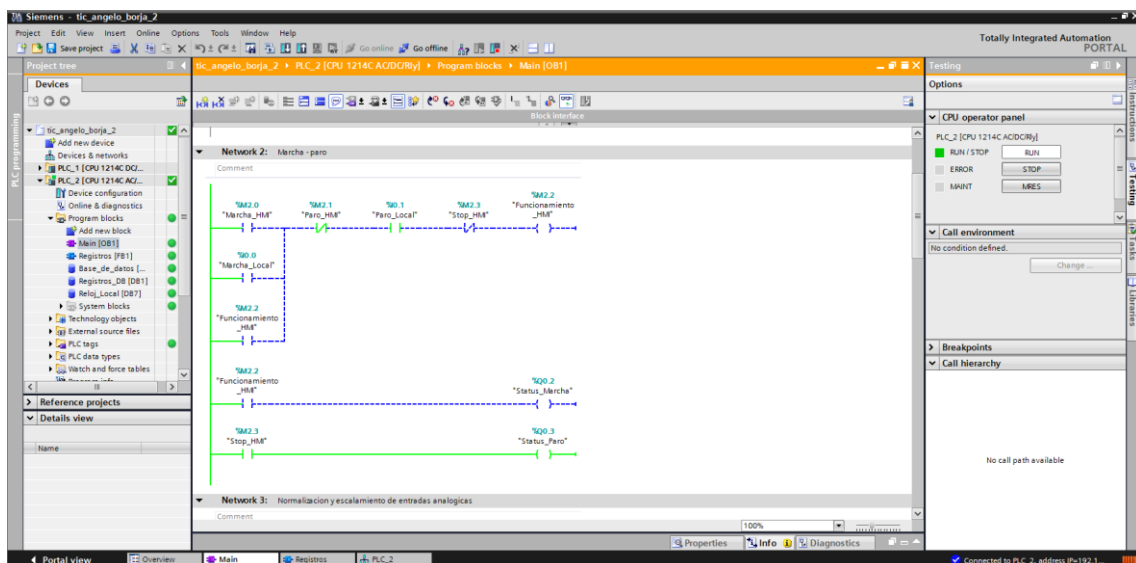
La Figura 3.3 muestra una prueba de funcionamiento del proceso sin el uso del Servidor Web, es decir únicamente se utilizó la lógica de programación en conjunto con la estructura física, en esta prueba las variables de escritura se las forzó directamente desde el software TIA Portal.



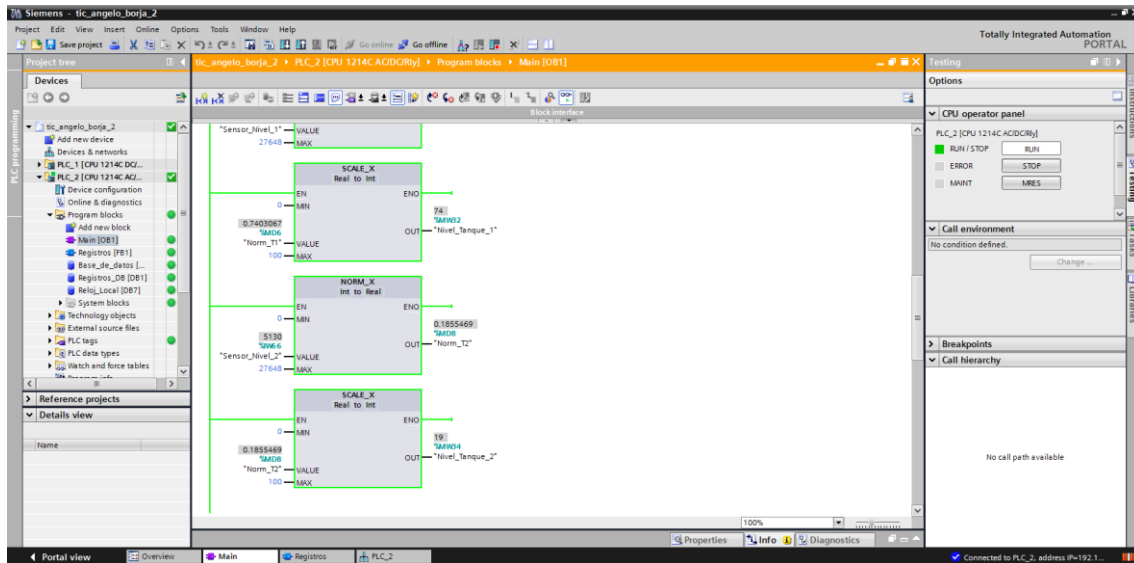


**Figura 3.3.** Prueba de funcionamiento lógica de programación en la estructura física

La Figura 3.4 muestra el estado activo de la salida digital de paro del proceso, en este caso es la salida Q0.3, mientras que la Figura 3.5 muestra la lectura de las variables analógicas en el software TIA Portal, estas variables son entregadas a partir de los sensores ultrasónicos utilizados en el proceso.



**Figura 3.4.** Estado de activación salida digital de paro



**Figura 3.5.** Estado de lectura variables analógicas

Con las pruebas realizadas se comprobó que la estructura física y la lógica de programación utilizada se complementan correctamente, de manera que el usuario podría utilizar la estructura incluso si no cuenta con un HMI.

### 3.1.3 IMPLEMENTACIÓN DEL HMI DENTRO DEL SERVIDOR WEB DEL PLC S7-1200

La implementación del HMI inicia en la opción Web Server dentro de la configuración del PLC S7-1200, se siguió el procedimiento mencionado en el Anexo I y Anexo II seleccionando la carpeta que contine los archivos obtenidos mediante el diseño de las páginas web, y además también se seleccionó la página inicial, en este caso es la página web “Inicio.html”.

La Figura 3.6 muestra la configuración de la opción Web Server del PLC, con los parámetros correctamente asignados en cada opción requerida, también se realizó la configuración de la opción de protección como se muestra en la Figura 3.7, manteniendo desactivada la protección del PLC únicamente por facilidad de acceso.



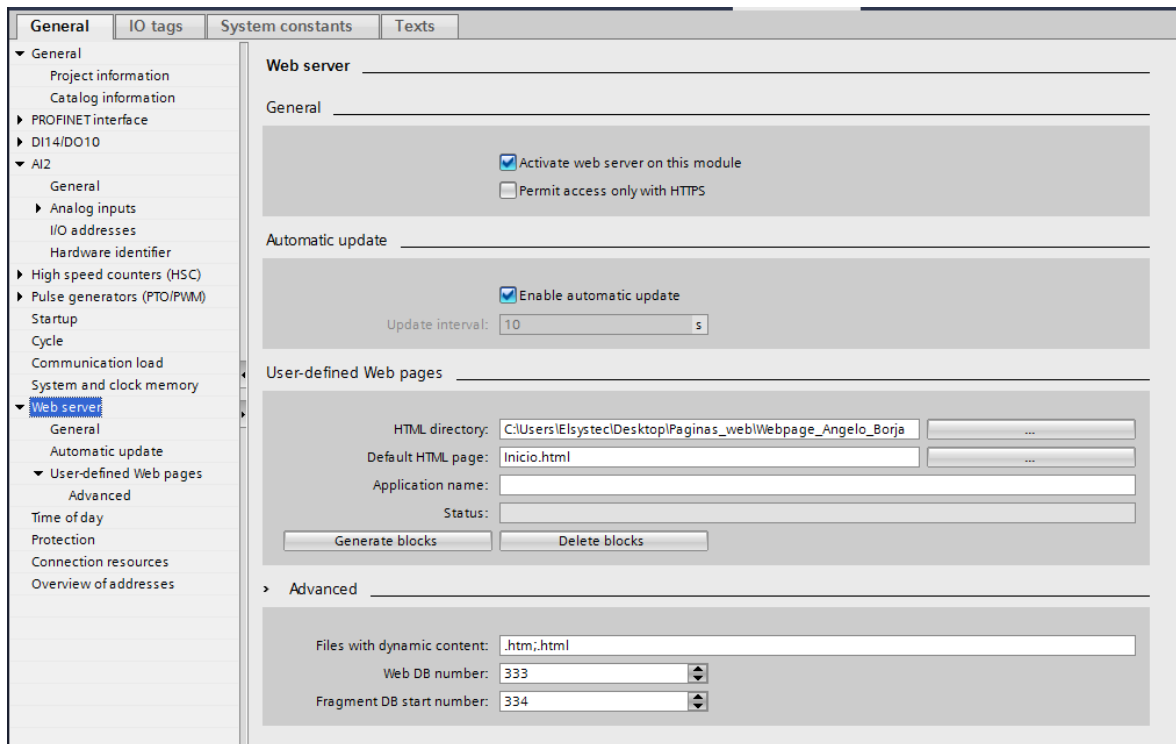


Figura 3.6. Parámetros asignados a Web Server

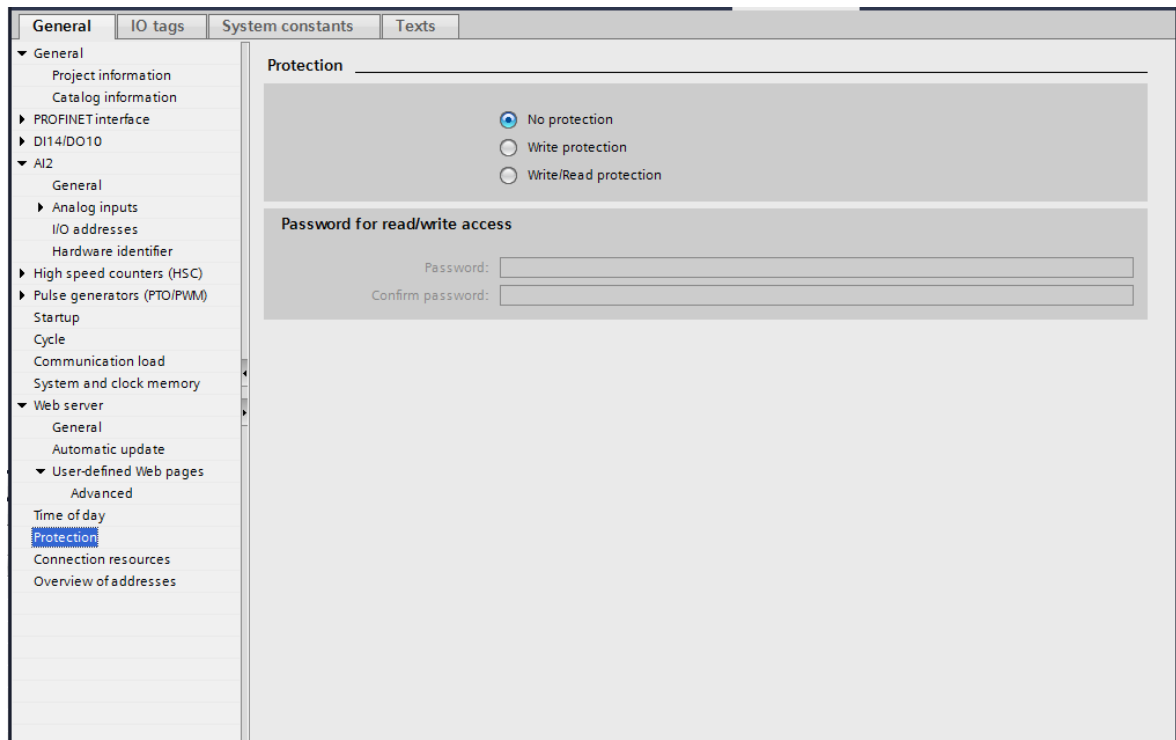
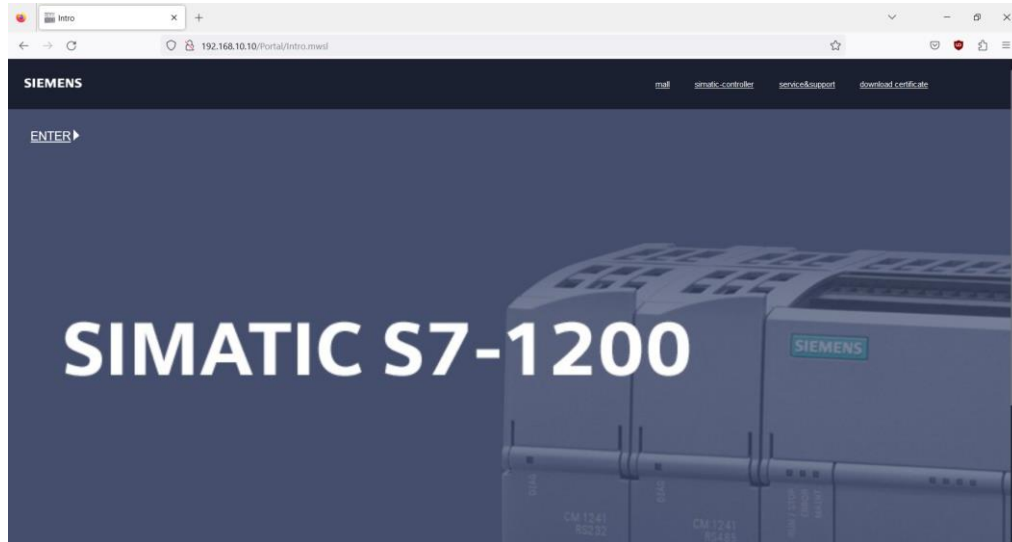


Figura 3.7. Estado de seguridad del PLC

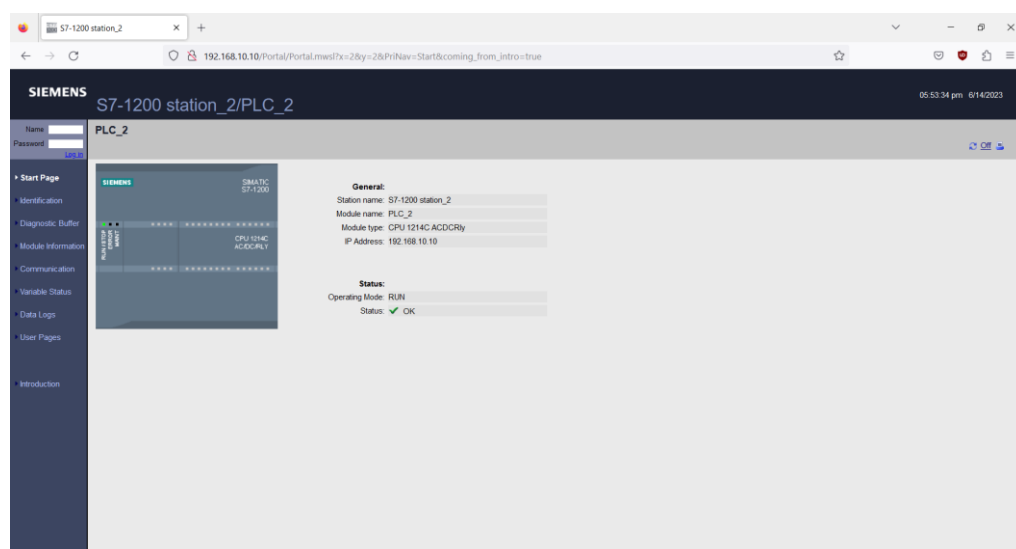
Una vez realizadas las configuraciones del servidor web, se procedió a compilar nuevamente el código y a enviarlo al PLC S7-1200, como se puede apreciar en la Figura 3.8, se nos presenta la ventana de acceso al servidor web.



**Figura 3.8.** Ventana de acceso al servidor web S7-1200

La ventana de la Figura 3.8 contiene una barra superior donde la opción más importante es “descargar certificado” localizada en la esquina superior derecha, esta opción es necesaria para lograr iniciar sesión mediante el navegador, caso contrario el acceso a las funciones del servidor web serán limitadas.

Para acceder a las funciones del servidor web es necesario dar clic en la opción “Enter” en la esquina superior izquierda.



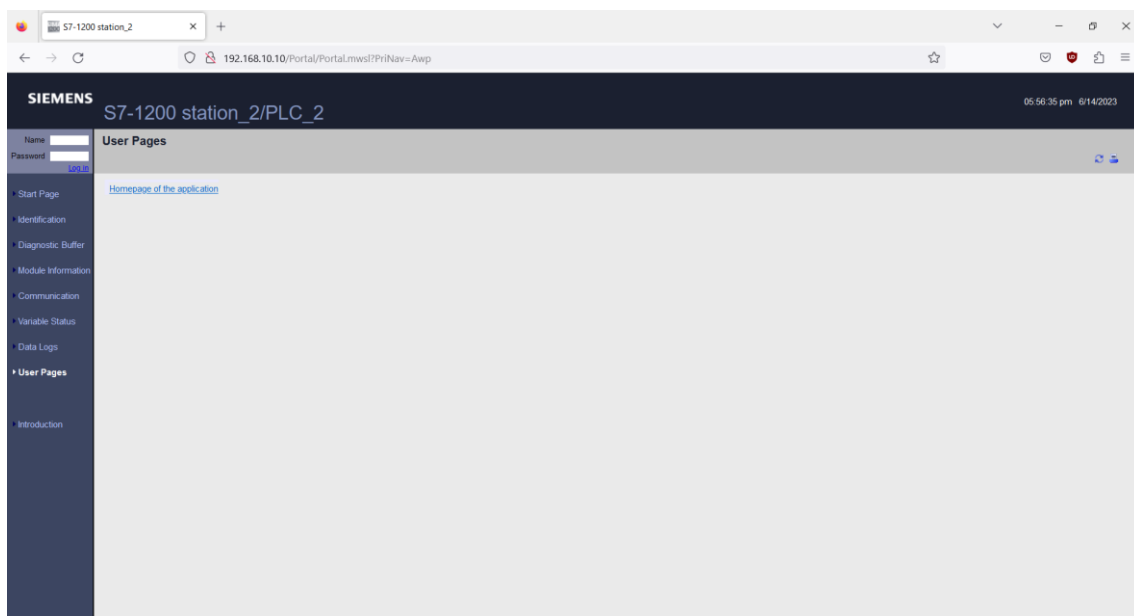
**Figura 3.9.** Ventana inicial del servidor web S7-1200

La Figura 3.9 muestra la ventana inicial del servidor web, donde se puede apreciar el estado del PLC, así como también la dirección IP del mismo, y en el menú lateral izquierdo se encuentran distintas opciones que ofrece el servidor web.

En la esquina superior izquierda se encuentra el formulario de inicio de sesión, como se mencionó anteriormente es necesario descargar e instalar los certificados del PLC en el navegador web para poder iniciar sesión, caso contrario el navegador enviará un mensaje de error.

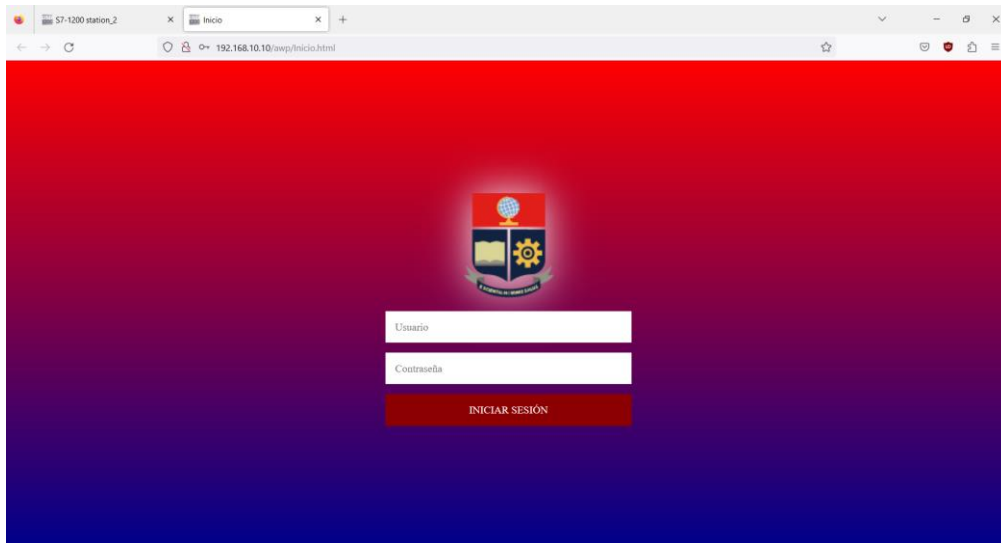
En caso de no instalar los certificados o no iniciar sesión, se podrá hacer uso del servidor web, pero existirán varias funciones que no podrán realizarse, en el caso de páginas web diseñadas, no se podrá realizar la escritura de variables en el PLC.

Para acceder a las páginas web diseñadas por el usuario se debe elegir la opción “User Pages” localizada en el menú lateral izquierdo, como se puede apreciar en la Figura 3.10 únicamente se presenta la opción “Homepage of the application”, siendo este el acceso al HMI diseñado.



**Figura 3.10.** Ventana de páginas de usuario del servidor web S7-1200

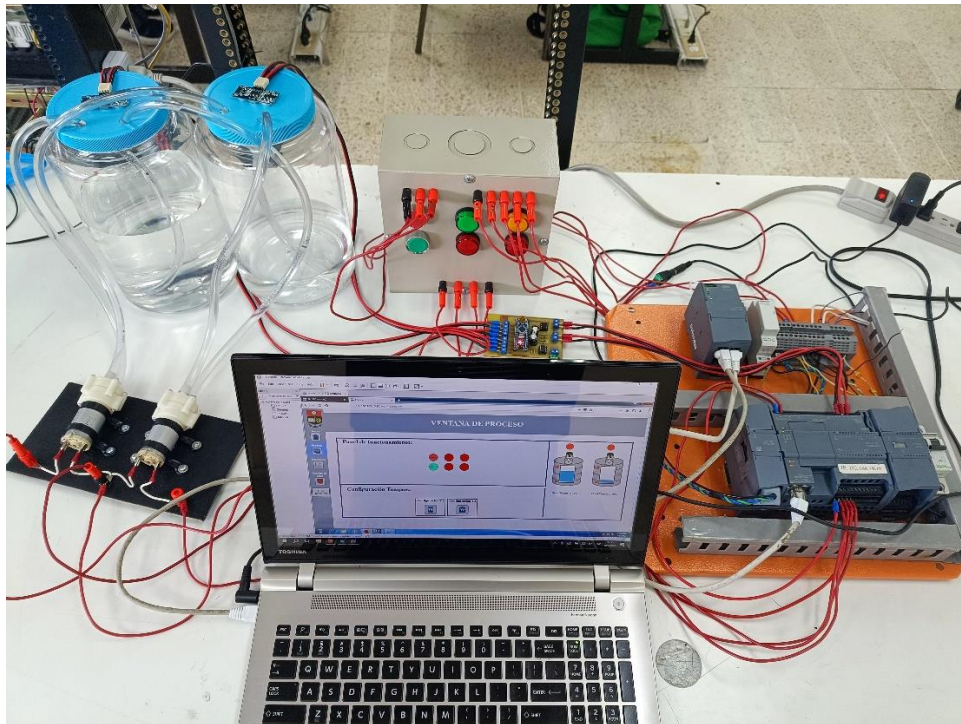
Como se puede apreciar en la Figura 3.11, una vez se haya dado clic en la opción “Homepage of the application”, se abrirá una nueva pestaña en el navegador, la cual constará con la página web de la ventana principal de acceso del HMI.



**Figura 3.11.** Ventana principal de acceso al HMI desde el servidor web S7-1200

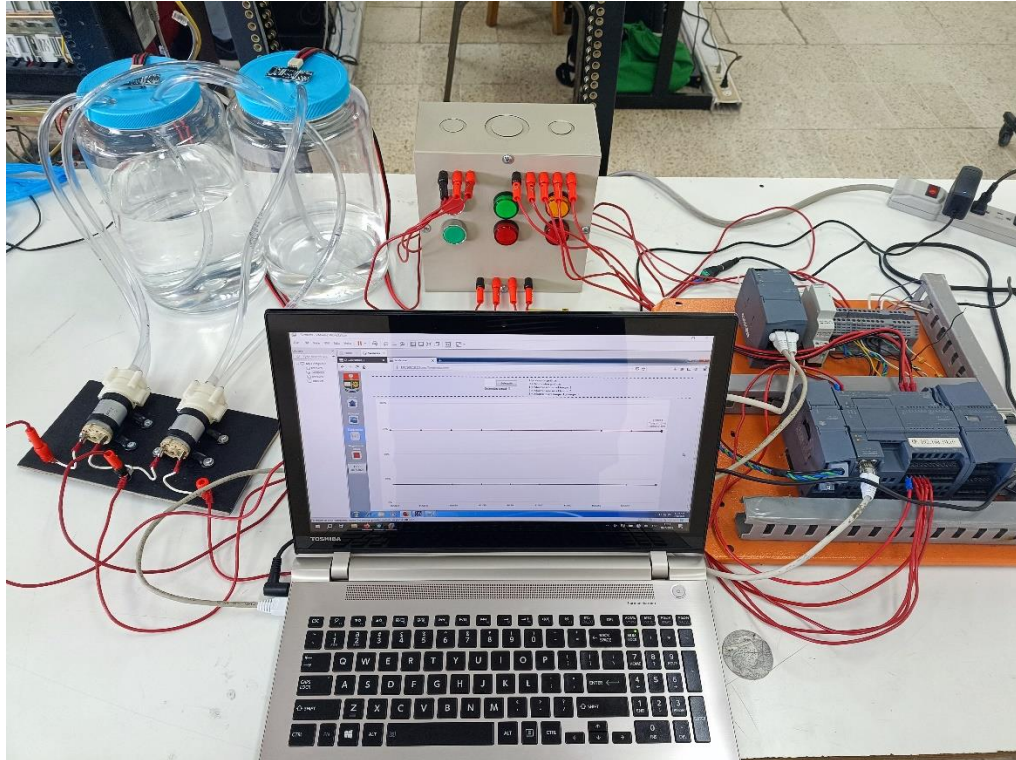
### **3.1.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI EN CONJUNTO CON LA ESTRUCTURA DE HARDWARE**

Para las pruebas de funcionamiento se verificó el estado de los sensores, actuadores y de las conexiones del tablero, una vez realizado esto se procedió a compilar y cargar el programa completo dentro del PLC, para estas pruebas se utilizó el PLC S7-1200 AC/DC/RLY.



**Figura 3.12.** Visualización de condiciones iniciales del proceso

En la prueba inicial el acceso al PLC se lo realizó mediante la conexión por el cable Ethernet como se puede apreciar en la Figura 3.12, además se puede observar el estado de los tanques y el tablero tanto en la estructura como también en el HMI, en la Figura 3.12 el proceso está en condiciones iniciales donde no se ha iniciado el proceso y además no se ha alcanzado un Set Point establecido.

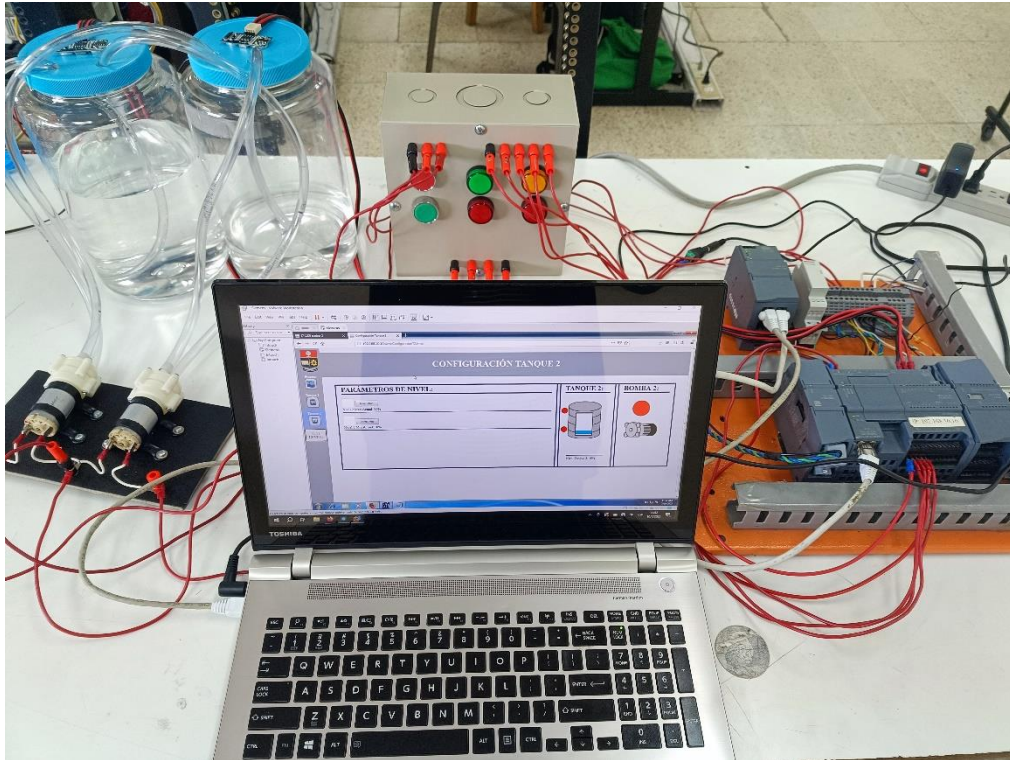


**Figura 3.13.** Visualización de condiciones iniciales del proceso

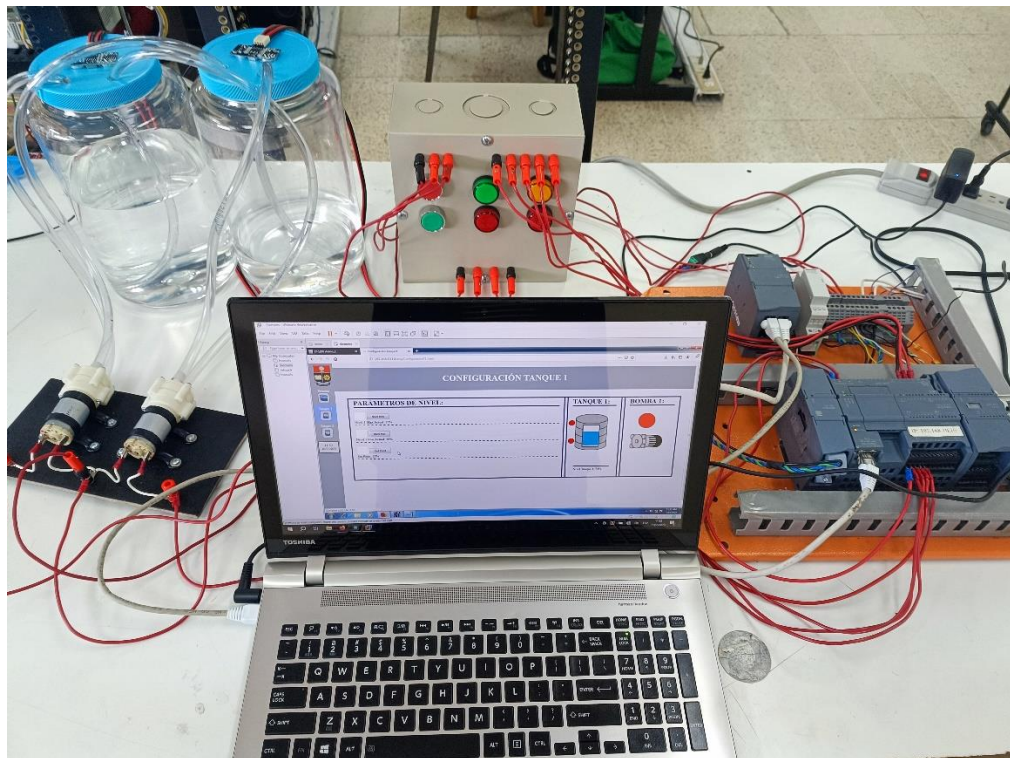
La Figura 3.13 muestra el nivel de los tanques en la ventana de tendencias del HMI, como se puede apreciar únicamente se presentan líneas horizontales ya que el nivel ha permanecido constante durante más de un minuto.

En la Figura 3.14 se presenta la configuración del tanque 2, donde se pueden asignar las alarmas de niveles máximos y mínimos, mientras que en la Figura 3.15 se presenta la configuración del tanque 1, en el cual además de asignar las alarmas de niveles máximos y mínimos, también se puede asignar un valor de Set Point al tanque 1.



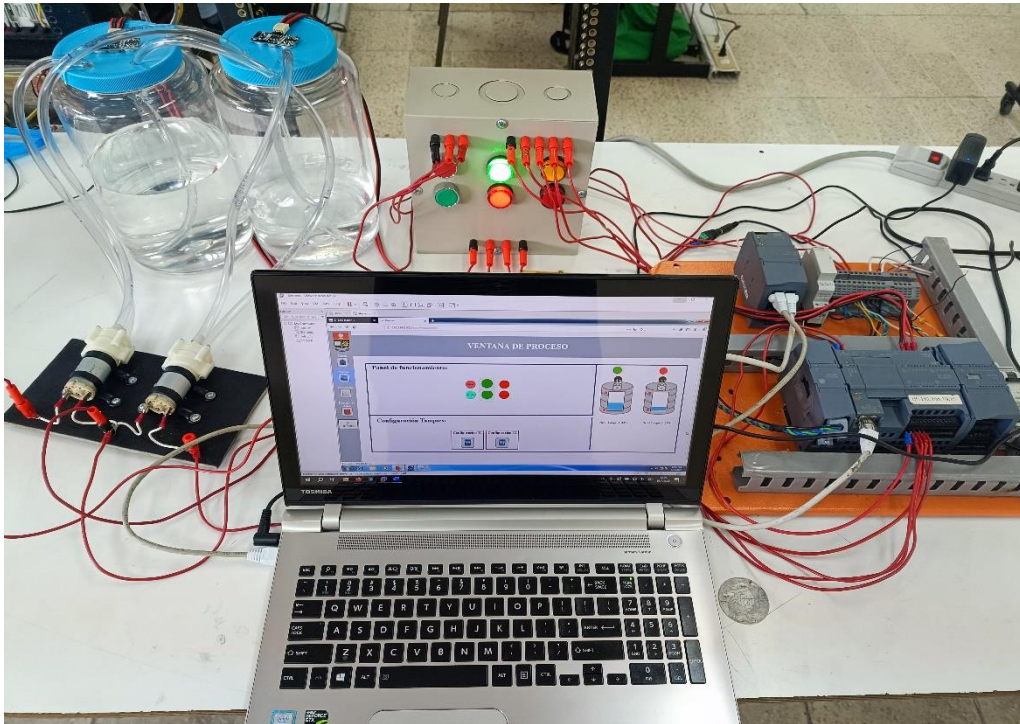


**Figura 3.14.** Visualización de configuración tanque 2



**Figura 3.15.** Visualización de configuración tanque 1

La Figura 3.16 muestra el inicio del proceso, activando la salida tres del PLC y de esta manera encendiendo el indicador de funcionamiento tanto en el tablero como en el HMI, se ha asignado una valor al Set Point del 20%, razón por la cual también se ha accionado la bomba 1, la cual se encarga del vaciado del tanque 1 y a su vez su indicador de activación.

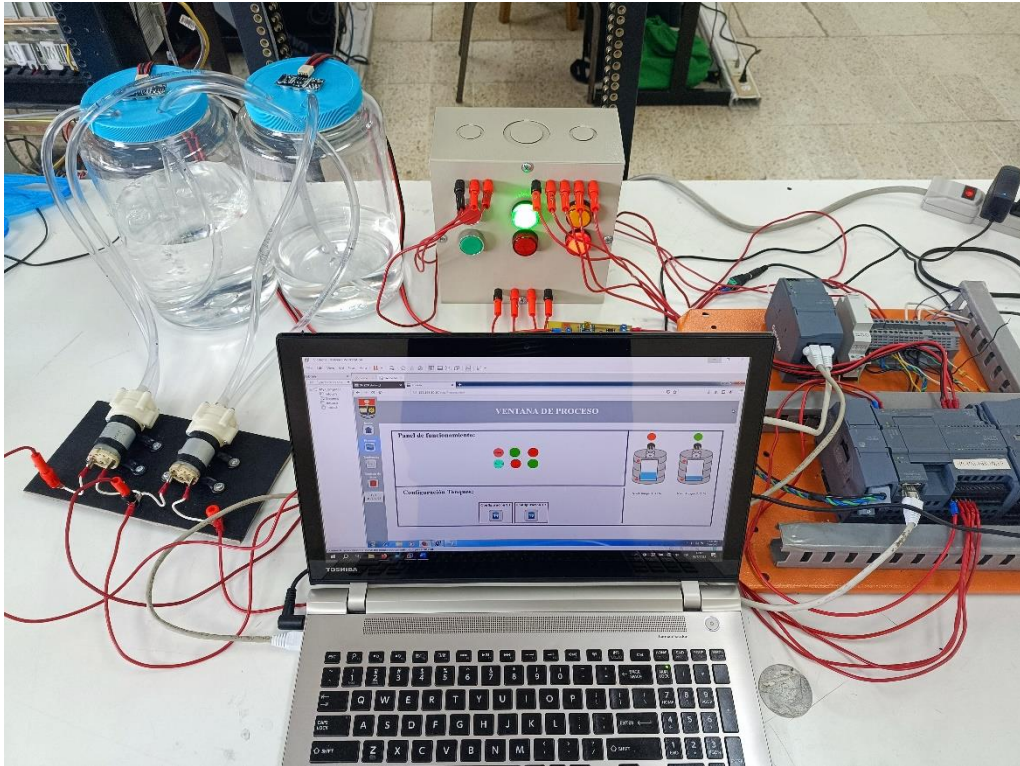


**Figura 3.16.** Visualización de activación de bomba 1

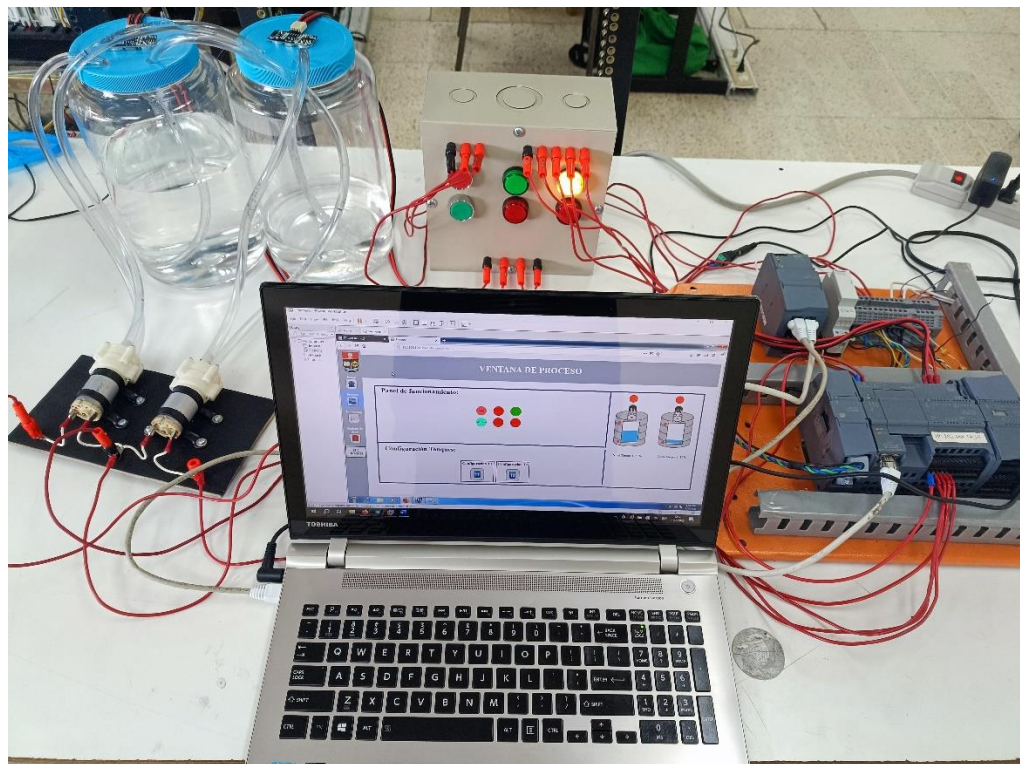
La Figura 3.17 muestra un cambio de Set Point en el proceso, activando nuevamente la salida tres del PLC y de esta manera encendiendo el indicador de funcionamiento tanto en el tablero como en el HMI, se ha asignado una valor al Set Point del 70%, razón por la cual también se ha accionado la bomba 2, la cual se encarga del llenado del tanque 1 y a su vez su indicador de activación.

La Figura 3.18 muestra que el proceso ha alcanzado el Set Point asignado, razón por la cual se ha activado la salida cuatro del PLC y se ha encendido su indicador de activación, en este estado las bombas están apagadas y se espera que el usuario asigne un nuevo Set Point y luego nuevamente accione el pulsante de marcha.





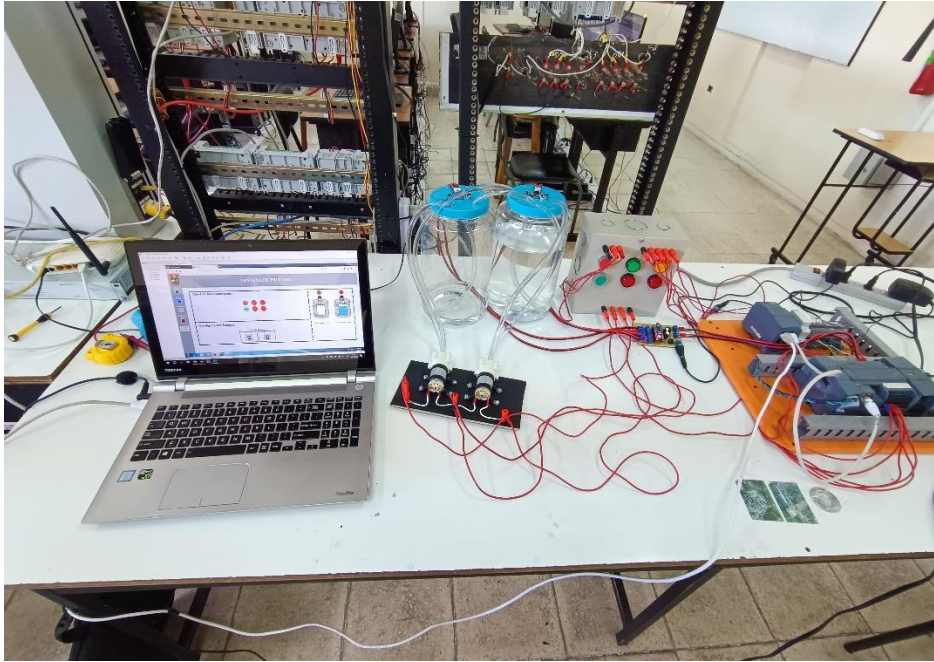
**Figura 3.17.** Visualización de activación de bomba 2



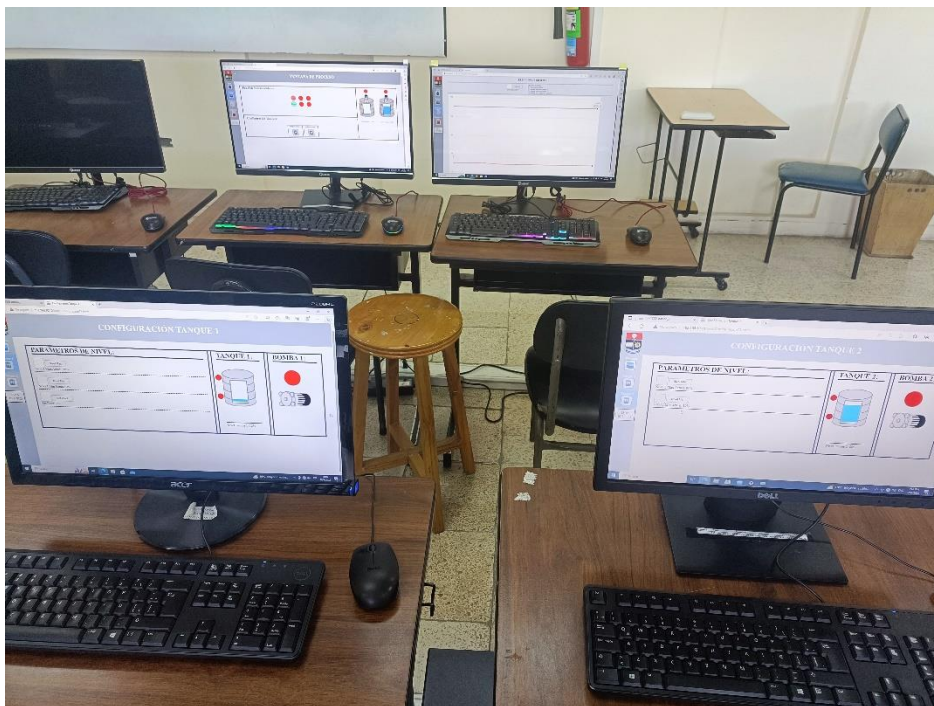
**Figura 3.18.** Visualización de estado de paro del proceso



La siguiente prueba de funcionamiento consistía en conectar el PLC a la red del Laboratorio de Redes Industriales y lograr acceder al HMI del servidor web, mediante las computadoras del laboratorio, en la Figura 3.19 se muestra al PLC conectado a la red del laboratorio y en la Figura 3.20 se muestra el acceso a las diferentes ventanas del HMI a partir de las computadoras del laboratorio de redes.



**Figura 3.19.** Conexión del PLC a la red del laboratorio



**Figura 3.20.** Acceso al HMI del servidor web mediante los equipos del laboratorio

## 3.2 CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un HMI en el servidor web del controlador lógico programable Siemens S7-1200 para el Laboratorio de Redes Industriales, el cual facilitó el monitoreo y permitió cierto grado de control de un proceso industrial a pequeña escala.
- El estudio del funcionamiento y las características del servidor web de Siemens permitió conocer los requerimientos y las limitaciones necesarias para su uso, los cuales se tomaron en consideración para el desarrollo de la aplicación de software tipo HMI haciendo uso de tecnologías de diseño web.
- El servidor web de Siemens al estar activado ya presenta la opción de mostrar el estado de variables del proceso, esto mediante una tabla donde se deberá digitar el nombre y el tipo de variable deseada, pero esto resulta muy poco amigable para el usuario, de manera que el diseño de un HMI mejora en gran medida la experiencia de monitoreo y control del proceso.
- El diseño de la aplicación de software tipo HMI se enfocó en emular un proceso de control de nivel de dos tanques interconectados, donde el HMI permite observar y configurar ciertas características del proceso, así como también registrar cambios en las variables más importantes, estos registros se muestran a los usuarios mediante una gráfica de tendencias y además permite la descarga de dichos registros.
- La validación del funcionamiento del HMI se la realizó mediante pruebas de comunicación de las variables utilizadas en los bloques de programación del proceso, en el HMI las variables fueron representadas como indicadores numéricos e indicadores gráficos, facilitando la observación de los cambios en las mismas.
- La construcción de un HMI haciendo uso de herramientas de diseño web, en lugar de utilizar interfaces de diseño clásicas, presentó ciertas facilidades en el aspecto de asociar las variables del proceso, ya que para su lectura no se requirió de configuraciones extra, sino de digitar correctamente las variables dentro del código HTML y para escritura fue necesario el uso de la estructura de comandos AWP y el uso de formularios de envío.
- Los inconvenientes presentados en el diseño del HMI vinieron principalmente al asociar variables del proceso a gráficos de tendencias y también al mostrar gráficamente el estado de variables, estos inconvenientes se presentaron debido a que generar gráficos dentro de una página web y a su vez asociarlos a variables externas requirió un mayor

estudio del lenguaje de programación JavaScript, siendo esto algo que se evita al diseñar un HMI utilizando plataformas como WinCC o InTouch.

- Los elementos de la estructura física fueron diseñados para permitir un acople sencillo entre los mismos y el PLC S7-1200, facilitando su uso para la emulación completa del proceso planteado, además los elementos de la estructura como el tablero de control, las bombas o los sensores de nivel pueden ser utilizados por separado en otros procesos que sean requeridos en el Laboratorio de Redes Industriales.
- Si bien se planteó un HMI y una estructura física, la lógica de programación enfocada al control de nivel puede cambiar de muchas maneras sin la necesidad de modificar el HMI o la estructura física, esta lógica de programación podrá ser modificada por los instructores en caso de ser requerido.
- El funcionamiento completo del HMI dentro del servidor web del PLC S7-1200, se validó al realizar todas las conexiones físicas necesarias y a su vez cargar la lógica de programación dentro del PLC S7-1200, por último, realizando la conexión del PLC en la red local del Laboratorio de Redes Industriales, se logró monitorear y controlar el proceso a partir de los navegadores web de los equipos del laboratorio.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso del servidor web de Siemens en cualquier proceso a pequeña escala para conocer el estado de las variables, ya que su acceso se lo puede realizar desde cualquier equipo que se encuentre conectado en la red local, y de esta manera no se limita la observación del proceso a un solo equipo.
- Se recomienda el acceso al HMI mediante versiones de navegadores web actuales, los cuales soporten los avances en tecnologías web como es el caso de JavaScript y CSS, además los navegadores web deberán facilitar la instalación de los certificados de acceso provenientes del servidor web de Siemens.
- Para futuros diseños de un HMI dentro del servidor web hacer uso de técnicas de programación AJAX, las cuales permiten actualizar los datos transferidos desde el PLC, sin la necesidad de refrescar la página web constantemente.
- Actualmente el HMI está diseñado para ser utilizado en un solo PLC Siemens S7-1200, en futuras implementaciones se podría diseñar un HMI que conecte los servidores web de varios PLCs simultáneamente, permitiendo que el proceso emulado se asemeje en mayor medida a un proceso industrial real.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. J. Fuertes, M. Á. Prada, J. R. Rodríguez-Ossorio, R. González-Herbón, D. Pérez and M. Domínguez, "Environment for Education on Industry 4.0," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 144395-144405, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3120517.
- [2] F. Y. Limpraptono, H. Sudibyo, A. A. P. Ratna and A. S. Arifin, "The design of embedded web server for remote laboratories microcontroller system experiment," *TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference*, Bali, Indonesia, 2011, pp. 1198-1202, doi: 10.1109/TENCON.2011.6129302.
- [3] P. Cadens Roca, "Implementació d'un servidor web en un dispositiu lògic programable," Projecte Final de Màster Oficial, UPC, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, Departament d'Enginyeria Electrònica, 2017.
- [4] SiePortal. (2015, Sep. 10). Documentation. *Creación y utilización de páginas web propias en el S7-1200*. ("Creación y utilización de páginas web propias en el S7-1200") [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/58862931/creaci%C3%B3n-y-utilizaci%C3%B3n-de-p%C3%A1ginas-web-propias-en-el-s7-1200-?dti=0&lc=es-EC>
- [5] SiePortal. (2018, Aug). Manual de sistema. *SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*. [Online]. Available: [https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)
- [6] F. Flores, "Qué es Visual Studio Code y qué ventajas ofrece", Openwebinars.net, 22-jul-2022. [Online]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-visual-studio-code-y-que-ventajas-ofrece/>
- [7] "Live Server - visual studio marketplace", Visualstudio.com. [Online]. Available: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ritwickdey.LiveServer>
- [8] E. Vértice, *Diseño básico de páginas web en HTML*. Editorial Vértice, 2009.
- [9] R. G. Schulz, *Diseño web con CSS*. Marcombo, 2009.
- [10] J. Pérez, *Introducción a JavaScript*. 2012
- [11] M. E. Coppola, "Cuál es la estructura HTML de una página web", *Hubspot.es*, 20-jun-2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.hubspot.es/website/estructura-html>.

- [12] “¿Qué es el CSS?”, Mozilla.org. [En línea]. Disponible en: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/CSS/First\\_steps/What\\_is\\_CSS](https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/CSS/First_steps/What_is_CSS).
- [13] “¿Qué es JavaScript?”, Mozilla.org. [En línea]. Disponible en: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/JavaScript/First\\_steps/What\\_is\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/JavaScript/First_steps/What_is_JavaScript).
- [14] “ZB2-BE101 pdf, ZB2-BE101 Descripción Electrónicos, ZB2-BE101 Datasheet, ZB2-BE101 view :: ALLDATASHEET”:, Alldatasheet.es. [En línea]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1353582/SCHNEIDER/ZB2-BE101.html>.
- [15] “ZB2-BE102 pdf, ZB2-BE102 Descripción Electrónicos, ZB2-BE102 Datasheet, ZB2-BE102 view :: ALLDATASHEET”:, Alldatasheet.es. [En línea]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1353583/SCHNEIDER/ZB2-BE102.html>.
- [16] Samadiyarielectronics.com. [En línea]. Disponible en: <https://samadiyarielectronics.com/assets/docs/Xider%20LEDS%20AD22.pdf>.
- [17] “MK2P-I pdf, MK2P-I Description, MK2P-I Datasheet, MK2P-I view :: ALLDATASHEET”:, Alldatasheet.com. [En línea]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/333348/OMRON/MK2P-I.html>.
- [18] Omron.es. [En línea]. Disponible en: <https://industrial.omron.es/es/products/PF083A-E.pdf>.

## **5 ANEXOS**

**ANEXO I.** Procedimiento de habilitación del servidor web.

**ANEXO II.** Procedimiento de configuración de protección del servidor web.

**ANEXO III.** Distribución de elementos y características del tablero de la estructura física.

**ANEXO IV.** Diseño y acondicionamiento de placa para sensores ultrasónicos de nivel.

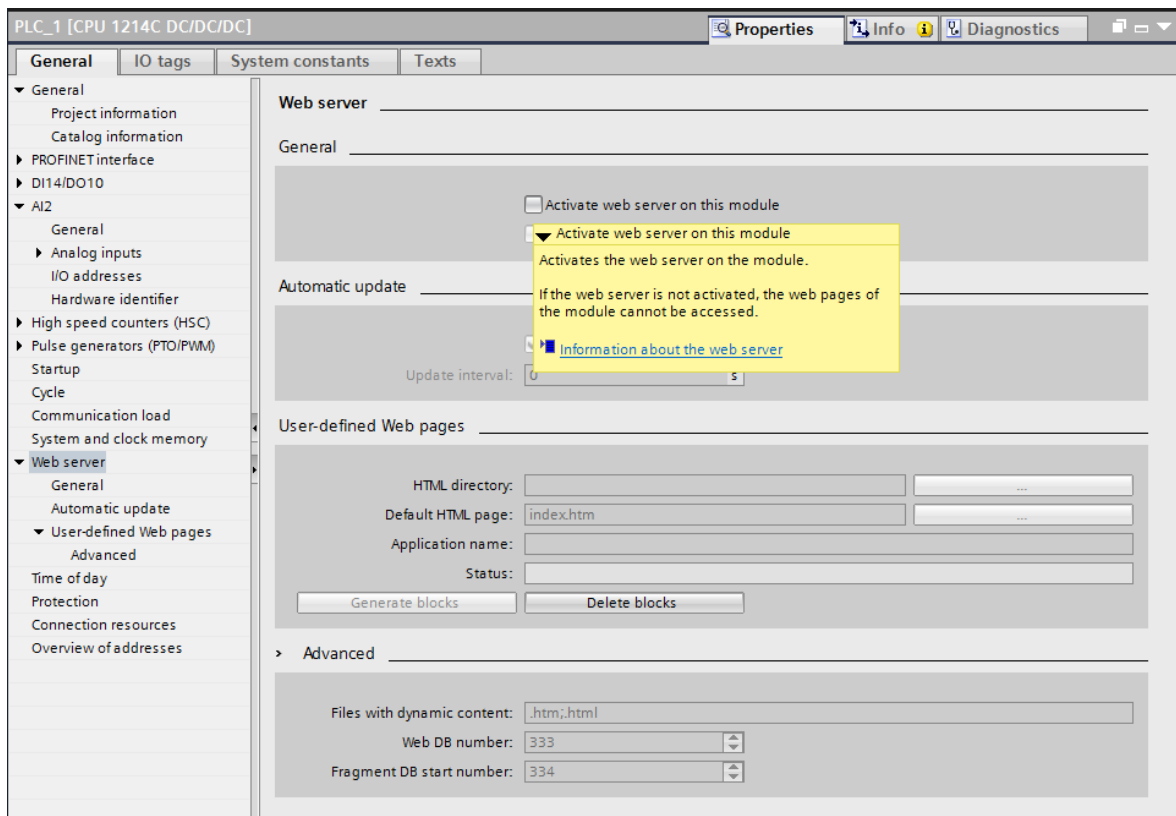
**ANEXO V.** Bloques de programación utilizados en el PLC S7-1200.

**ANEXO VI.** Enlace de video y entregables del proyecto.

# ANEXO I

## Procedimiento de habilitación del servidor web.

Mediante el software TIA Portal se selecciona el modelo del PLC requerido, a este modelo también se le asigna una dirección IP acorde a la red local que se tenga. La Figura 5.1 muestra la ventana donde se encuentran las configuraciones necesarias para habilitar el servidor web, este paso es requerido para tener acceso al servidor web dentro de la red local.



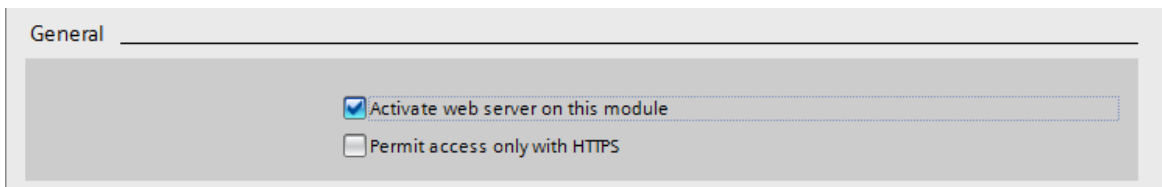
**Figura 5.1.** Ventana de configuración del Servidor Web

Las configuraciones que ofrece el servidor web se dividen en tres grupos siendo estos: general, actualización automática y páginas web definidas por el usuario.

La Figura 5.2 muestra la configuración “General”, la cual presenta dos opciones a ser escogidas, la primera selección permite activar el servidor web en el dispositivo, esta es la selección más importante de toda la configuración del servidor web, si no se habilita, entonces no se podrá realizar ninguna otra configuración.

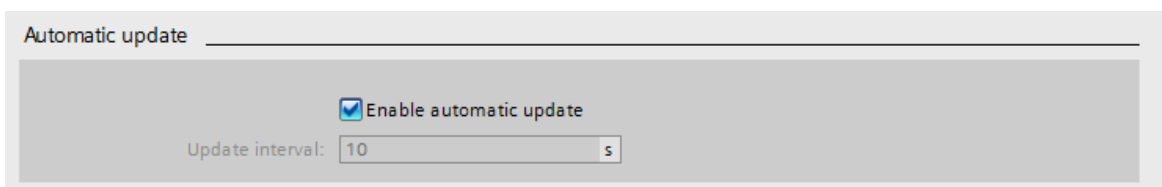
La segunda opción permite el acceso al servidor únicamente con el protocolo de transferencia de hipertexto seguro (HTTPS), es decir, es usado para mejorar la seguridad

de comunicación entre el servidor web y los navegadores que acceden al servidor. Debido a que el servidor web se utilizará en una práctica del Laboratorio de Redes Industriales, esta selección es opcional, mientras que en un proceso real se recomienda siempre habilitarla.



**Figura 5.2.** Ventana de configuración general del Servidor Web

La Figura 5.3 muestra la configuración "Actualización automática", permitiendo seleccionar la opción de habilitación de actualización automática, esta opción está enfocada en refrescar la página web del servidor, más no en refrescar las páginas web diseñadas por el usuario, este intervalo se puede modificar, aunque por defecto viene dado en 10 segundos.



**Figura 5.3.** Configuración de actualización automática del Servidor Web

La Figura 5.4 muestra la configuración "Páginas web definidas por el usuario", esta configuración permite la creación de bloques de datos, los cuales se generan a partir de cargar la página web diseñada en el PLC, estos bloques son necesarios para que el PLC pueda comunicar correctamente un proceso a la página web.

En esta configuración se elige la ubicación de la carpeta con todos los archivos deseados de la página web creada, como pueden ser imágenes o archivos de configuraciones requeridos, además en caso de tener más de una página web en la carpeta, se puede elegir cuál será la primera página web a ser mostrada, en este caso la primera página es la de ingreso de usuario.

Otra de las opciones que se nos presenta está el botón de generación de bloques de datos y el botón de eliminar bloques de datos, siempre que se utiliza una nueva página web se deben eliminar los bloques de datos anteriores y generar los nuevos bloques de datos.



User-defined Web pages

HTML directory:  ...

Default HTML page:  ...

Application name:

Status:

**Figura 5.4.** Configuración de páginas web definidas por el usuario

Por último, en la Figura 5.5 se tiene la opción “Avanzada” la cual permite el uso de las extensiones de los archivos de páginas web, además de definir el número de inicio de los bloques de datos, por defecto el servidor web inicia en 333 y los fragmentos de bloques de datos de las páginas web creadas por el usuario inician en 334.

> Advanced

Files with dynamic content:

Web DB number:  ▲▼

Fragment DB start number:  ▲▼

**Figura 5.5.** Configuración avanzada de páginas web definidas por el usuario

## ANEXO II

### Procedimiento de configuración de protección del servidor web.

Los permisos de acceso se pueden configurar mediante el software TIA Portal, dentro de las configuraciones generales del modelo de PLC previamente seleccionado. En la Figura 5.6 se muestra la opción “Protección”, donde se puede modificar el tipo de protección y la contraseña de acceso.

Existen tres tipos de protección, siendo estas: sin protección, protección de escritura y protección de escritura/lectura, estas opciones únicamente modifican la contraseña de acceso, mientras el usuario por defecto siempre será el mismo, en el caso de los PLC S7-1200 el usuario es “admin”.

- La opción “Sin protección” mantiene la contraseña como un espacio en blanco, es decir, basta con digitar el nombre de usuario “admin” e iniciar sesión directamente.
- Las opciones “Protección de escritura” y “Protección de escritura/lectura” habilitan la posibilidad de modificar la contraseña de acceso, si bien se marcan como dos opciones distintas, en realidad no hay diferencia entre ambas, ya que el servidor web no admite la función de protección de lectura.

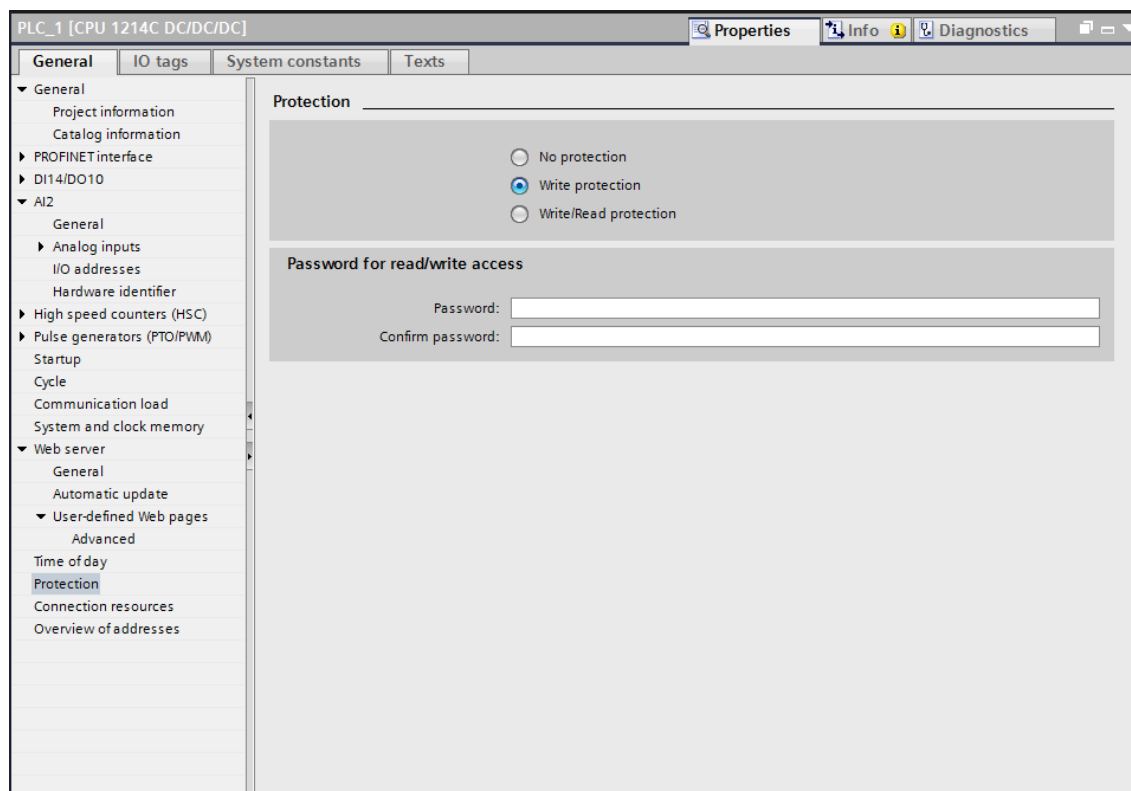


Figura 5.6. Ventana de configuración de protección

## ANEXO III

### Distribución de elementos y características del tablero de la estructura física.

Para la estructura física se diseña un panel de control, el cual consta de dos pulsantes, cuatro luces piloto y dos relés de propósito general:

**Tabla 5.1.** Características de elementos utilizados en el tablero

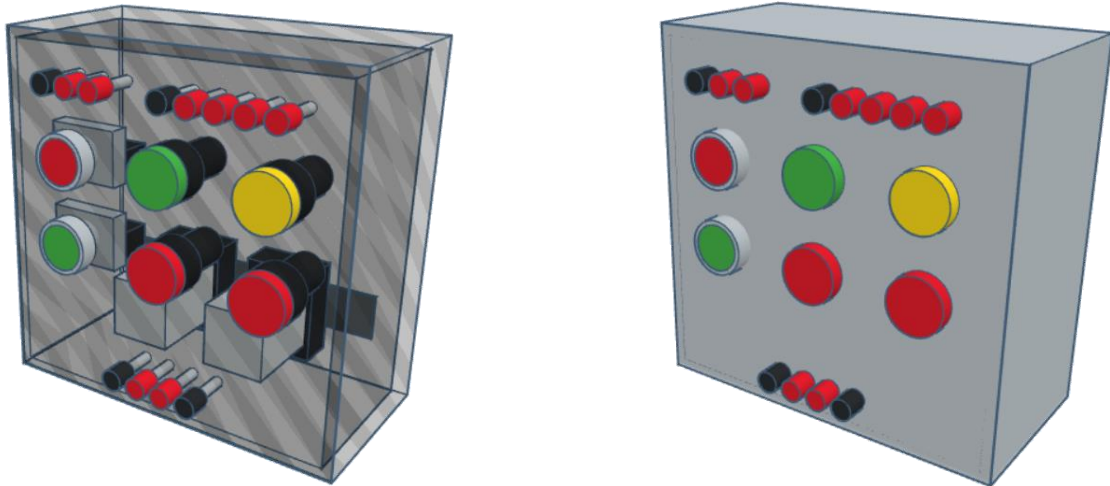
Elementos	Características	Imagen referencial
Pulsante Normalmente Abierto: STPB2-BE101 [14]	Corriente térmica ( $I_{the}$ ) = 10[A] Voltaje aislamiento ( $U_i$ ) = 600[V] Resistencia = 25[MΩ] Fuerza operación = 13 – 15[N]	
Pulsante Normalmente Cerrado: ZB2-BE102C [15]	Corriente térmica ( $I_{the}$ ) = 10[A] Voltaje aislamiento ( $U_i$ ) = 600[V] Resistencia = 25[MΩ] Fuerza operación = 13 – 15[N]	
Luz Piloto Verde: FATO – AD22-22DS [16]	Voltaje de alimentación: AC/DC Rango de Voltaje = 6[V <sub>DC</sub> -V <sub>AC</sub> ] - 127[V <sub>DC</sub> -V <sub>AC</sub> ] Rango de Corriente = 140[mA <sub>DC</sub> -mA <sub>AC</sub> ] – 16[mA <sub>DC</sub> -mA <sub>AC</sub> ]	
Luz Piloto Amarilla: FATO – AD22-22DS [16]	Voltaje de alimentación: AC/DC Rango de Voltaje = 6[V <sub>DC</sub> -V <sub>AC</sub> ] - 127[V <sub>DC</sub> -V <sub>AC</sub> ] Rango de Corriente = 140[mA <sub>DC</sub> -mA <sub>AC</sub> ] – 16[mA <sub>DC</sub> -mA <sub>AC</sub> ]	
Luz Piloto Roja: FATO – AD22-22DS [16]	Voltaje de alimentación: AC/DC Rango de Voltaje = 6[V <sub>DC</sub> -V <sub>AC</sub> ] - 127[V <sub>DC</sub> -V <sub>AC</sub> ] Rango de Corriente = 140[mA <sub>DC</sub> -mA <sub>AC</sub> ] – 16[mA <sub>DC</sub> -mA <sub>AC</sub> ]	

<p>Relé Propósito general HRK – MK2P-I [17]</p>	<p>Bobina: AC/DC          Voltaje Carga Máximo = <math>250[V_{AC}]</math>  <math>- 28[V_{DC}]</math>          Corriente Carga Máximo =  <math>10[A_{AC}] - 10[A_{DC}]</math>          Rangos Voltajes AC en Bobina =  <math>6[V_{AC}] - 240[V_{AC}]</math>          Rangos Voltajes DC en Bobina =  <math>6[V_{DC}] - 110[V_{DC}]</math>          Consumo de potencia AC =  <math>2.3[VA]</math>          Consumo de potencia DC =  <math>1.5[W]</math></p>	
<p>Base de Relé DPDT – PF083A-E [18]</p>	<p>Base empotrable de 8 pines</p>	
<p>Caja de Paso Cuadrada</p>	<p>Dimensiones:          Alto = <math>20[cm]</math>          Ancho = <math>20[cm]</math>          Profundidad = <math>10[cm]</math></p>	

La distribución de elementos se la realizó mediante el software Tinkercad, ya que dicho software permite la creación de modelos 3D, los cuales presentan dimensiones precisas, permitiendo asignar posiciones a cada elemento dentro de las dimensiones de la caja del tablero.

El tamaño de la profundidad de la caja no permite que los relés de propósito general contengan elementos sobre ellos, ya que superará la profundidad de  $10[cm]$ , por esta razón el uso de Tinkercad ayudó en gran medida a evitar superposiciones en los elementos.

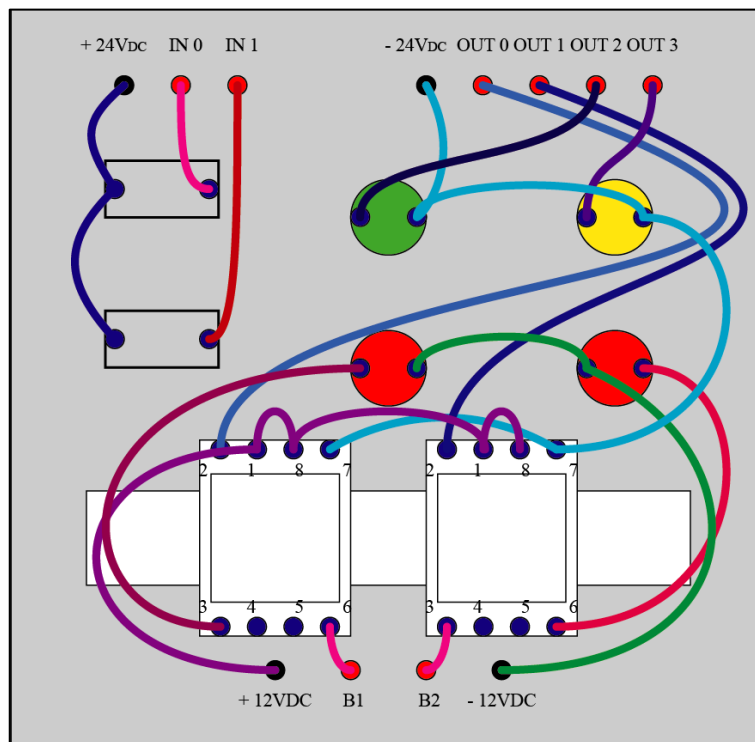
El diseño 3D de los elementos del tablero muestra en la Figura 5.7, donde se tienen tanto una vista externa, como interna del tablero.



**Figura 5.7.** Vista 3D interna y externa de la distribución de elementos en el tablero

Una vez analizado completamente las dimensiones, se procedió a distribuir los elementos en el tablero, de manera que se pueda realizar fácilmente las conexiones entre las borneras y los elementos, para esto se utilizó el software Adobe Illustrator, el cual permite utilizar escalas reales y generar curvas que facilitará la distribución del cableado.

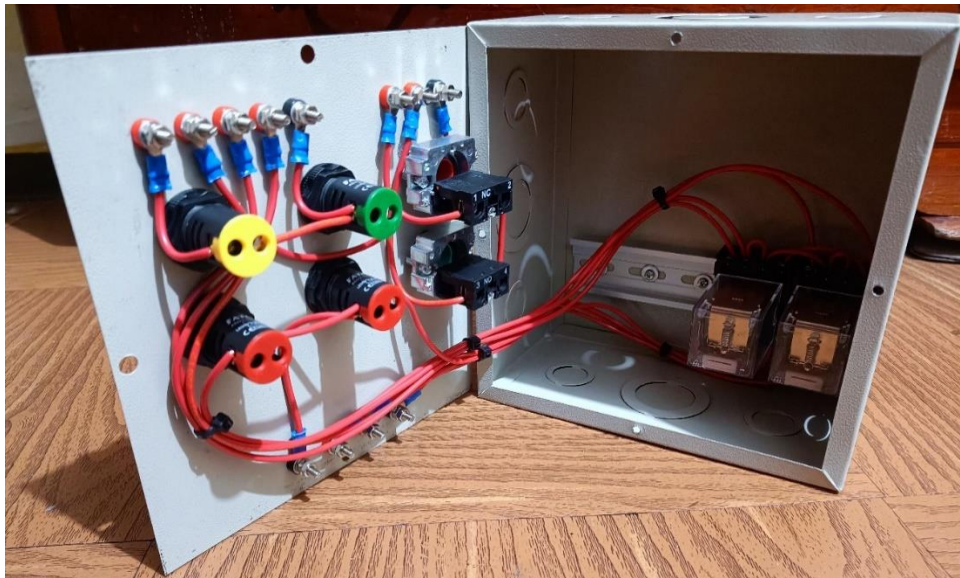
La Figura 5.8 presenta el resultado de superponer el cableado dentro del software Adobe Illustrator.



**Figura 5.8.** Esquema de cableado de los elementos dentro del tablero

Una vez se realizó todo el análisis se procedió al armado del tablero siguiendo los esquemas de la Figura 5.7 y la Figura 5.8, también se tomó en consideración la necesidad de permitir la apertura y cierre del tablero, por esta razón se utilizaron longitudes de cable mayores ya que permiten con facilidad alcanzar los elementos frontales y los relés ubicados al fondo.

Como resultado se presenta la Figura 5.9, mostrando el cableado interno del tablero y la Figura 5.10, la cual muestra una vista externa del tablero.



**Figura 5.9.** Cableado interno de los elementos del tablero



**Figura 5.10.** Vista externa del tablero

## ANEXO IV

### Diseño y acondicionamiento de placa para sensores ultrasónicos de nivel.

#### Acondicionamiento sensor de nivel:

Para medir el nivel de los tanques se utiliza dos sensores ultrasónicos, uno en cada tanque, en este caso se utiliza el sensor ultrasónico HC-SR04 donde el rango de este sensor va desde 2[cm] hasta 400[cm], de manera que es ideal para los tanques seleccionados en este proceso.

El funcionamiento de este sensor se basa en la emisión y el rebote de una señal ultrasónica, donde el controlador Arduino se encarga de medir el tiempo tarda en regresar la señal, obteniendo la distancia al multiplicar el tiempo de la señal, con la velocidad del sonido y dividir este valor sobre dos, ya que el tiempo de rebote considera el recorrido total de la señal ultrasónica.

Se acondicionó los sensores con respecto al tanque seleccionado de manera que se obtenga una señal de voltaje de 10[V] cuando el tanque esté lleno y una señal de 0[V] cuando el tanque esté vacío, para lograr esto se utilizó un Arduino Nano, el cual facilita el control de los dos sensores.

Como entrada del Arduino Nano únicamente se tiene los pines Echo de cada HC-SR04, mientras en que las salidas se encuentran los pines Trigger de cada HC-SR04 y además una señal PWM por cada sensor, el ancho de pulso de esta señal varía inversamente proporcional a la distancia medida.

Cada salida PWM se conecta a un capacitor, de manera que se filtre la señal y el voltaje medio se mantenga constante, debido a que el voltaje máximo en la salida de los pines del Arduino Nano es de 5V se opta por limitar el voltaje medio en la salida a un valor de 3.8V, mediante amplificadores operacionales estos voltajes de salida alcanzan como máximo los 10[V] deseados al llenar cada tanque.

Se utilizó amplificadores operacionales LM741, ya que estos se pueden alimentar con una fuente de 12[V] y presenta un voltaje de saturación de 10.8[V], ya que este voltaje es mayor a los 10[V] deseados se ajusta perfectamente a las características deseadas, la ganancia deseada en este circuito es la siguiente:

$$Ganancia = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{10[V]}{3.8[V]} = 2.6315 \quad (5.1)$$



Los amplificadores operacionales requirieron de una configuración no inversora, ya que la ganancia es mayor a uno y además no se requiere invertir la señal de entrada, la ganancia de un amplificador no inversor viene definida por la siguiente ecuación:

$$G = 1 + \frac{RF}{R1} \quad (5.2)$$

En este caso se asume  $R1 = 10[K\Omega]$ :

$$2.6315 = 1 + \frac{RF}{10000\Omega}$$

Despejando RF en la ecuación 5.2, se obtiene la siguiente ecuación:

$$RF = 1.6315 * 10000 = 16315[\Omega]$$

Se aproxima el valor de la resistencia a  $18[K\Omega]$ , esto produce un cambio en la ganancia, siendo la nueva ganancia:

$$G = 1 + \frac{18000}{10000} = 2.8$$

Al tener una nueva ganancia el voltaje en la salida de los pines del Arduino también cambia:

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{G} = \frac{10[V]}{2.8[V]} = 3.5714[V]$$

Se utilizó una relación lineal, mediante una ecuación de la recta, entre el voltaje de salida y la señal PWM, un Arduino logra producir el mayor ancho de pulso cuando se envía 255 en el pin deseado, el voltaje medio de esta señal PWM corresponde a  $5[V]$ , obteniendo la siguiente ecuación de la recta:

$$Y - Y0 = \left( \frac{Y1 - Y0}{X1 - X0} \right) * (X - X0) \quad (5.3)$$

$$Y - 0 = \left( \frac{255 - 0}{5 - 0} \right) * (X - 0)$$

$$Y = 51 * X \quad (5.4)$$

Como el voltaje de salida requerido es de  $3.57[V]$ , se reemplaza este valor en la ecuación 5.4:

$$Y(3.57) = 51 * 3.57 = 182.07 \approx 182$$



Una vez obtenido el valor deseado en la salida, se necesitó una relación entre la señal PWM de salida y el rango de distancia medido, para esto se utilizó una nueva relación lineal; mediante una nueva ecuación de la recta, utilizando la ecuación 5.3, se desea que el rango de medición de cada tanque sea desde 5[cm] hasta 25[cm], obteniendo la siguiente ecuación de la recta:

$$Y - Y_0 = \left( \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \right) * (X - X_0) \rightarrow Y - 0 = \left( \frac{180 - 0}{25 - 5} \right) * (X - 5)$$

$$Y = 9 * (X - 5) \tag{5.5}$$

Esta ecuación 5.5 presenta una relación directamente proporcional a la distancia, pero como se busca una relación inversamente proporcional, entonces esta ecuación deberá restarse del valor máximo de la señal PWM:

$$Y = 180 - (9X - 45) \tag{5.6}$$

Una vez obtenidas las relaciones entre las mediciones de los sensores y las salidas PWM se limitó mediante código los valores fuera del rango de medición deseado, en este caso se utilizarán tres casos:

- Si la distancia es menor a 5[cm] entonces se obtiene la salida máxima, es decir una PWM con valor de 182.
- Si la distancia está entre 5[cm] y 25[cm] entonces se obtiene la salida definida por la ecuación de acondicionamiento inversamente proporcional.
- Si la distancia es mayor a 25[cm] entonces se obtiene la salida mínima, es decir una PWM con valor de 0.

Para facilidad de conexión de los sensores se diseñó una placa PCB, la cual consta con la entrada de alimentación, la entrada de los sensores, el Arduino Nano, los capacitores de filtrado, la amplificación con operacionales, y las salidas de 0[V] a 10[V].

El esquemático del circuito se muestra en la Figura 5.11 y el diseño PCB se muestra en la Figura 5.12, ambos esquemas se los realizó en el software Proteus ya que este presenta una interfaz muy intuitiva y fácil de ejecutar.

La Figura 5.13 muestra el resultado de la placa que se la diseñó, la placa fue realizada a doble lado, de manera que los textos de la vista superior sean impresos en la placa y no se puedan borrar con facilidad.

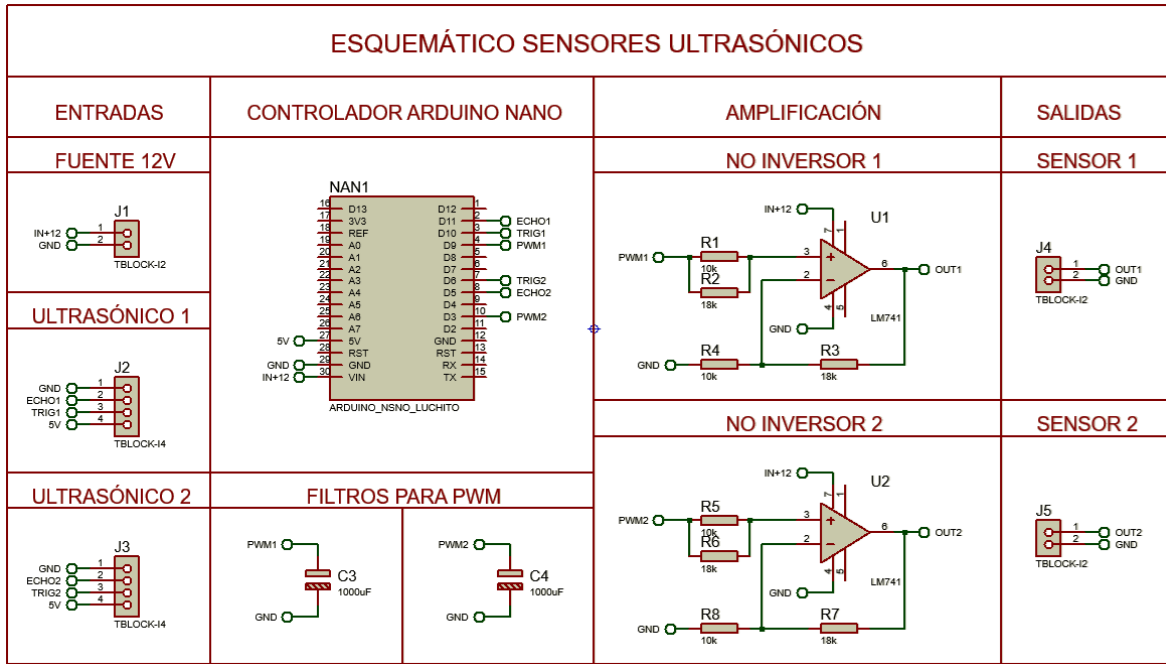


Figura 5.11. Esquemático de elementos en el software Proteus

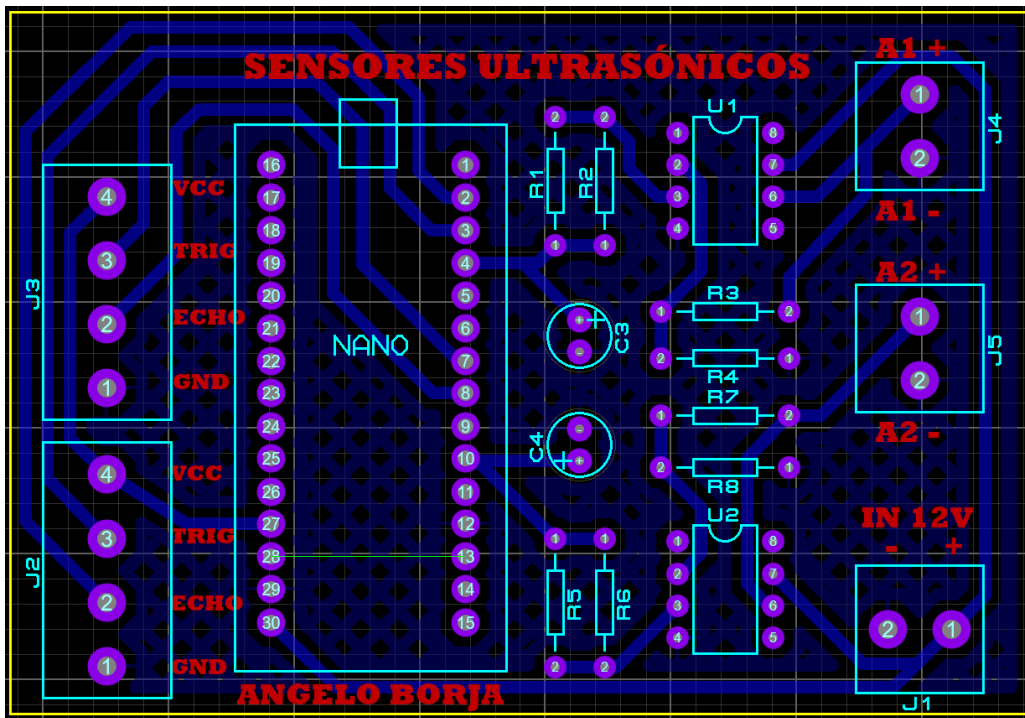


Figura 5.12. Esquema PCB realizado en software Proteus

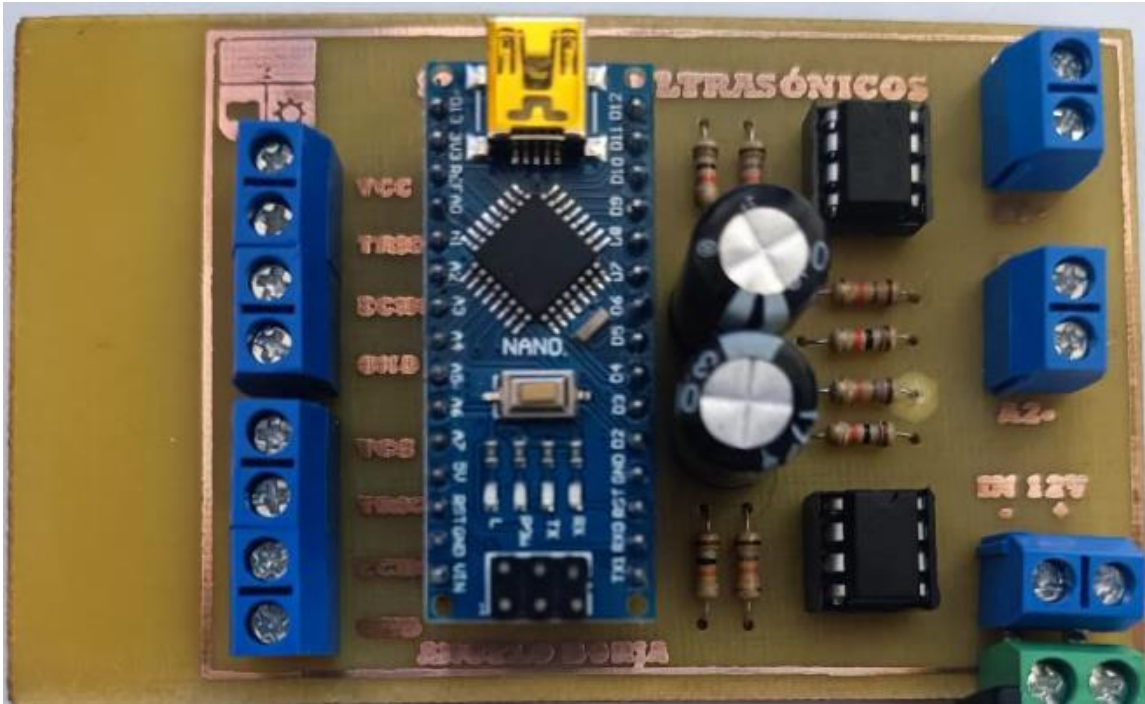
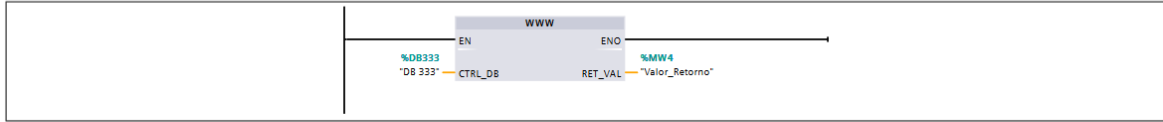


Figura 5.13. Diseño final de la placa de sensores ultrasónicos

## ANEXO V

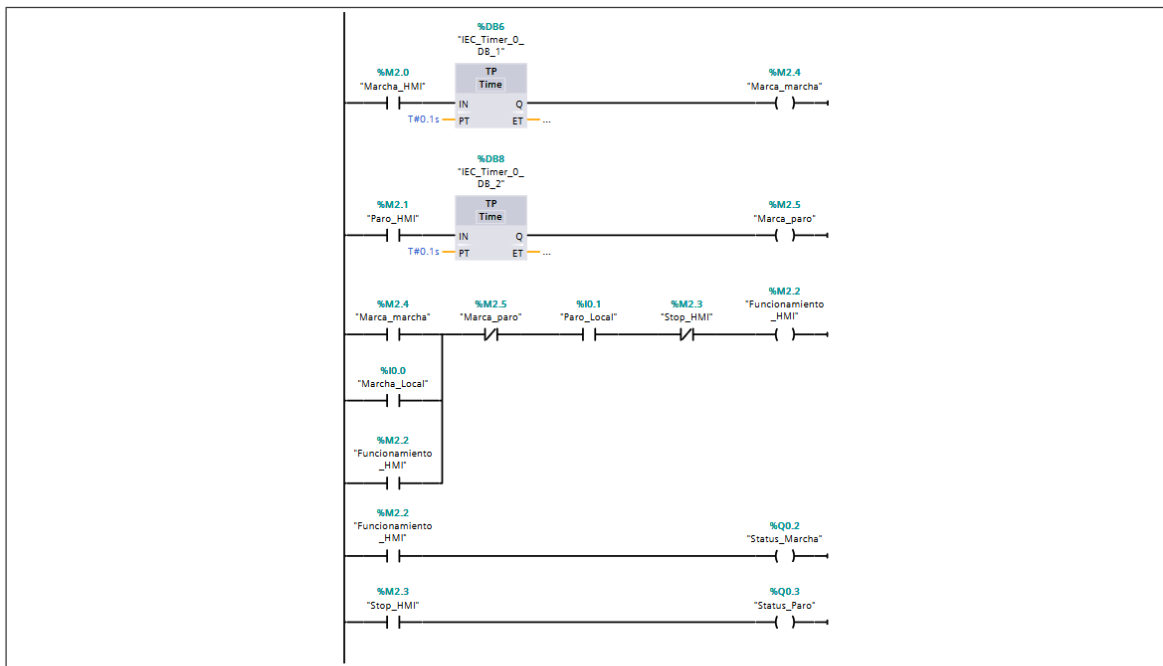
### Bloques de programación utilizados en el PLC S7-1200.

Network 1: Comunicacion WebServer



Symbol	Address	Type	Comment
"Valor_Returno"	%MW4	Int	

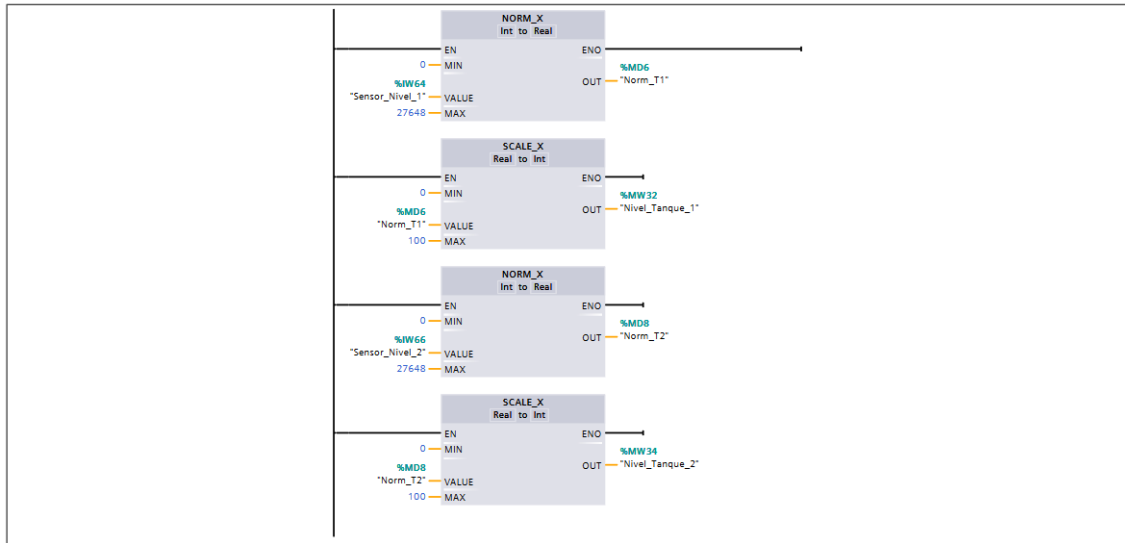
Network 2: Marcha - paro



Symbol	Address	Type	Comment
"Funcionamiento_HMI"	%M2.2	Bool	
"Marca_marcha"	%M2.4	Bool	
"Marca_paro"	%M2.5	Bool	
"Marcha_HMI"	%M2.0	Bool	
"Marcha_Local"	%I0.0	Bool	
"Paro_HMI"	%M2.1	Bool	
"Paro_Local"	%I0.1	Bool	
"Status_Marcha"	%Q0.2	Bool	
"Status_Paro"	%Q0.3	Bool	
"Stop_HMI"	%M2.3	Bool	

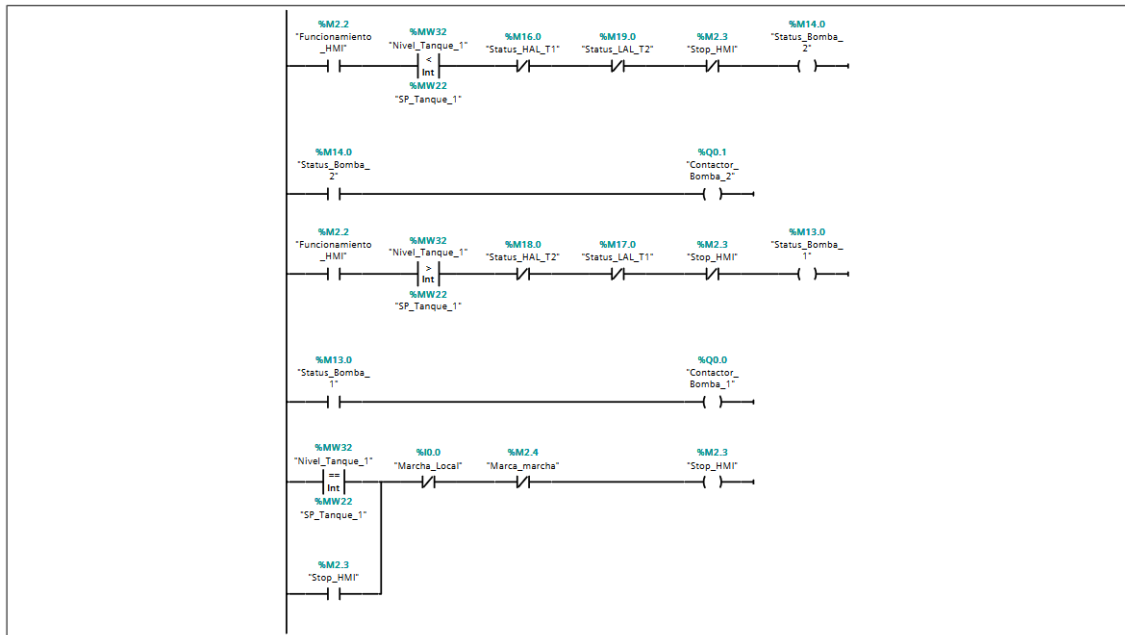
Figura 5.14. Bloques de programación comunicación web server y control marcha paro

Network 3: Normalizacion y escalamiento de entradas analogicas



Symbol	Address	Type	Comment
"Nivel_Tanque_1"	%MW32	Int	
"Nivel_Tanque_2"	%MW34	Int	
"Norm_T1"	%MD6	Real	
"Norm_T2"	%MD8	Real	
"Sensor_Nivel_1"	%IW64	Int	
"Sensor_Nivel_2"	%IW66	Int	

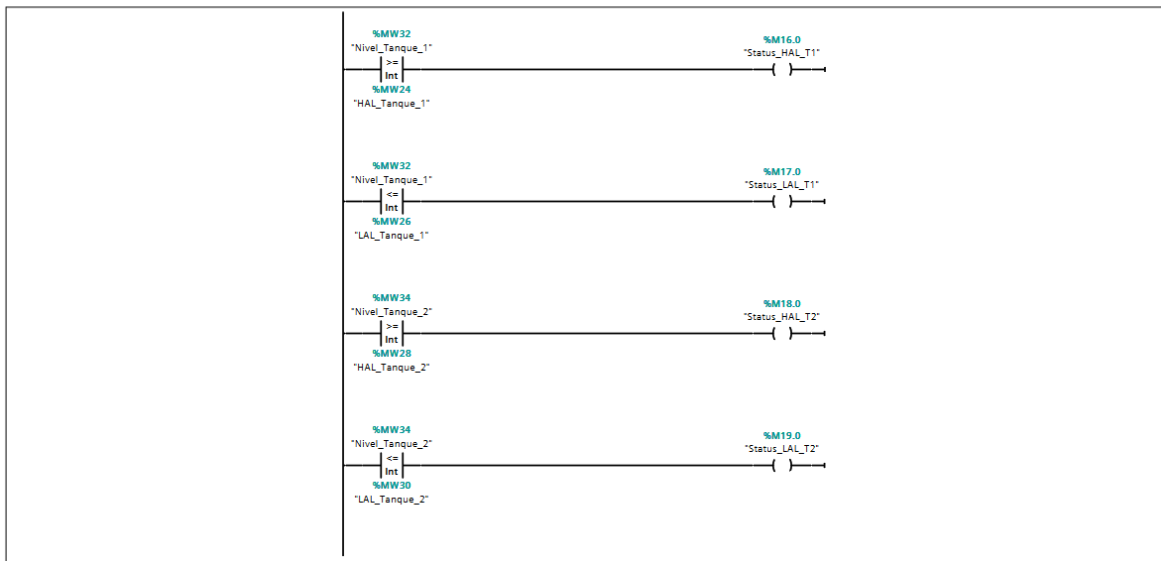
Network 4: Programacion Tanques



Symbol	Address	Type	Comment
"Contactor_Bomba_1"	%Q0.0	Bool	
"Contactor_Bomba_2"	%Q0.1	Bool	
"Funcionamiento_HMI"	%M2.2	Bool	
"Marca_marcha"	%M2.4	Bool	
"Marcha_Local"	%I0.0	Bool	
"Nivel_Tanque_1"	%MW32	Int	
"SP_Tanque_1"	%MW22	Int	
"Status_Bomba_1"	%M13.0	Bool	
"Status_Bomba_2"	%M14.0	Bool	
"Status_HAL_T1"	%M16.0	Bool	
"Status_HAL_T2"	%M18.0	Bool	
"Status_LAL_T1"	%M17.0	Bool	
"Status_LAL_T2"	%M19.0	Bool	
"Stop_HMI"	%M2.3	Bool	

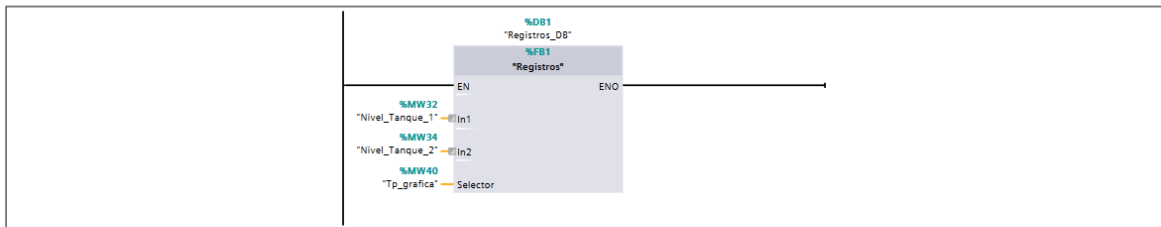
Figura 5.15. Bloques de programación entradas analógicas y control de nivel

Network 5: Niveles Maximos y Minimos



Symbol	Address	Type	Comment
"HAL_Tanque_1"	%MW24	Int	
"HAL_Tanque_2"	%MW28	Int	
"LAL_Tanque_1"	%MW26	Int	
"LAL_Tanque_2"	%MW30	Int	
"Nivel_Tanque_1"	%MW32	Int	
"Nivel_Tanque_2"	%MW34	Int	
"Status_HAL_T1"	%M16.0	Bool	
"Status_HAL_T2"	%M18.0	Bool	
"Status_LAL_T1"	%M17.0	Bool	
"Status_LAL_T2"	%M19.0	Bool	

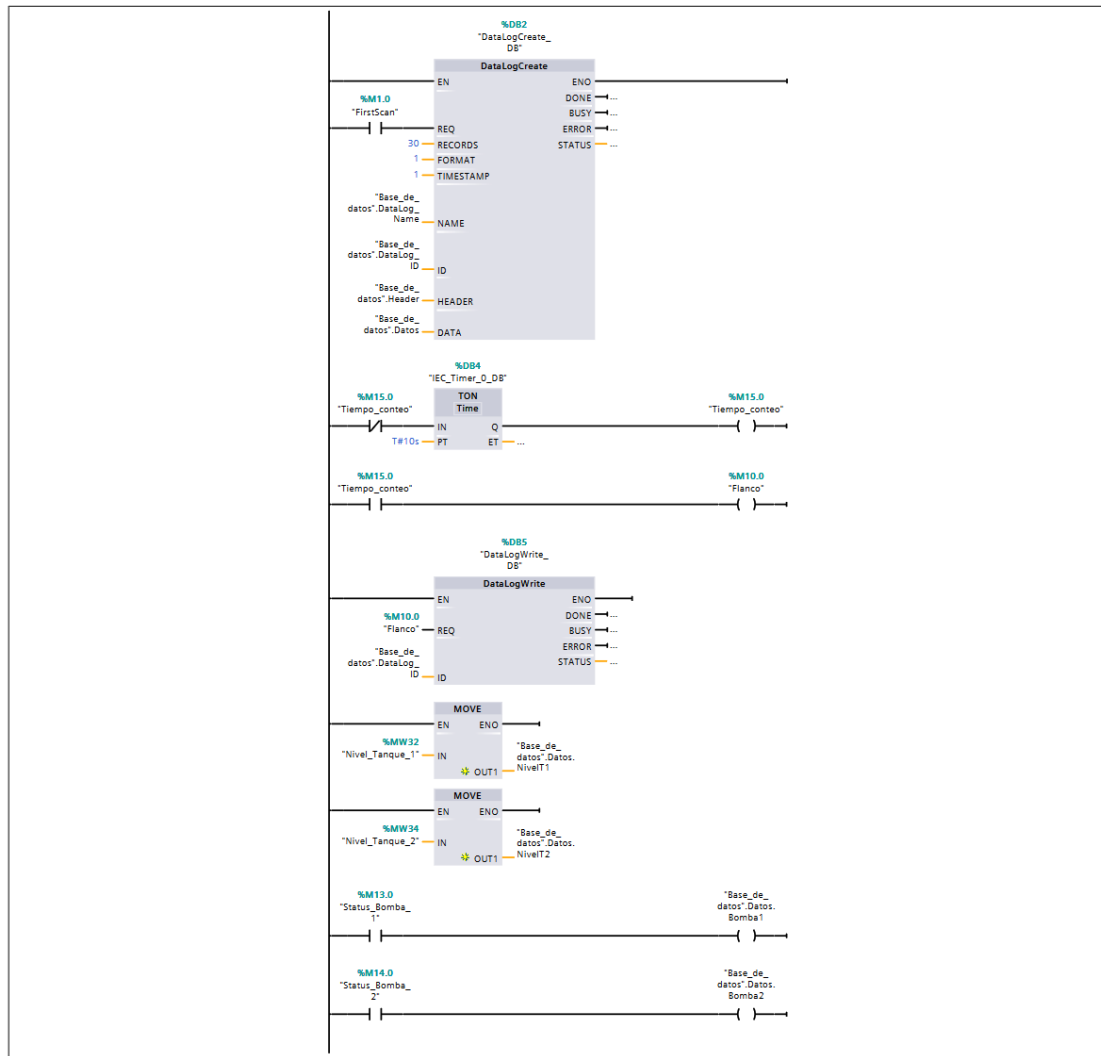
Network 6: Registro de datos para tendencias



Symbol	Address	Type	Comment
"Nivel_Tanque_1"	%MW32	Int	
"Nivel_Tanque_2"	%MW34	Int	
"Tp_grafica"	%MW40	Int	

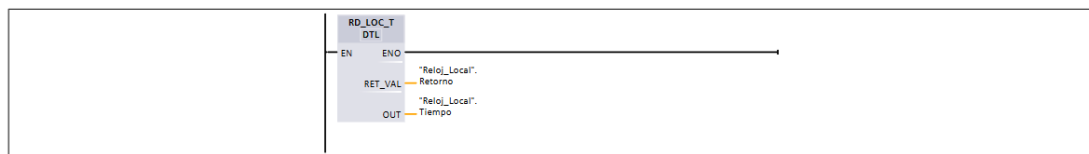
Figura 5.16. Bloques de programación niveles máximos y registros de datos

Network 7: Creacion y escritura base de datos



Symbol	Address	Type	Comment
%Base_de_datos.DataLog_ID		Dint	
%Base_de_datos.DataLog_Name		String	
%Base_de_datos.Datos		Struct	
%Base_de_datos.Datos.Bomba1		Bool	
%Base_de_datos.Datos.Bomba2		Bool	
%Base_de_datos.Datos.NivelT1		Int	
%Base_de_datos.Datos.NivelT2		Int	
%Base_de_datos.Header		String	
FirstScan	%M1.0	Bool	
Flanco	%M10.0	Bool	
Nivel_Tanque_1	%MW32	Int	
Nivel_Tanque_2	%MW34	Int	
Status_Bomba_1	%M13.0	Bool	
Status_Bomba_2	%M14.0	Bool	
Tiempo_conteo	%M15.0	Bool	

Network 8: Fecha y hora local



Symbol	Address	Type	Comment
%Reloj_Local.Retorno		Int	
%Reloj_Local.Tiempo		DTL	

Figura 5.17. Bloques de programación creación base de datos y lectura de tiempo local

## ANEXO VI

**Enlace de video y entregables del proyecto.**

**1. Video de implementación y funcionamiento del HMI en la plataforma web del PLC Siemens S7-1200 en el Laboratorio de Redes Industriales:**

[https://drive.google.com/drive/folders/1eyvQq\\_7katTO8Ju5ij5\\_WmV9vmEQ-\\_yz?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1eyvQq_7katTO8Ju5ij5_WmV9vmEQ-_yz?usp=sharing)

**2. Entregables del proyecto:**

**a) Carpeta con códigos y archivos utilizados para el diseño e implementación del HMI:**

[https://drive.google.com/drive/folders/1X\\_8h5ScRGIIpy8ahrn982--TFX0aZWq9?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1X_8h5ScRGIIpy8ahrn982--TFX0aZWq9?usp=sharing)

**b) Carpeta con el proyecto de TIA Portal V13 con los bloques de programación utilizados:**

<https://drive.google.com/drive/folders/1R-R2E4Gh9Xm-Sk7rzP-ljUuRlf2Qntzi?usp=sharing>