



## Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID

*120 liter craft beer brewing plant using PLC and a PID temperature control*

Neyra Fernández Ángel<sup>1</sup>, Acosta Acho Jesús<sup>2</sup>, Ricardo J. Palomares Orihuela<sup>3</sup>

**RECIBIDO:** 22 de setiembre del 2022

**ACEPTADO:** 15 de marzo 2023

### RESUMEN

En la investigación se diseñó cada pieza de la mini – planta por el software de SolidWorks, para los tanques se consideró de material acero inoxidable por su alta resistencia a la corrosión. El análisis eléctrico consistió en el diseño del tablero eléctrico y la distribución de los equipos eléctricos se consideró un motor de baja tensión, cuatro bombas recirculadas y dos resistencias calentadoras para los tanques de maceración y cocción, cumpliendo con el funcionamiento y con el objetivo propuesto; se realizó el cálculo de la cantidad de potencia que trabaja la mini – planta. Para el sistema de control se programó un PLC y se simuló por HMI la cual permite que el operario pueda manipular de manera sencilla los cuatro procesos. La temperatura en los procesos de maceración y cocción son controlados por un PID. Como resultado, se logró diseñar y simular el comportamiento mecánico, logrando tener las presiones positivas, tensiones mínimas de 0 MPa y máximas de 10.39 MPa con límite de fluencia de 206.8MPa y factor de seguridad de 11, para los soportes, y 0.01 MPa y una máxima de 29.42 MPa con límite de fluencia de 137.9 MPa y factor de seguridad de 4.7 para las tapas de los tanques. Se realizó un análisis de consumo de potencia obteniendo como resultado 3473W. Con el software Matlab se logró programar y sintonizar un controlador de temperatura PID teniendo como resultado  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  y  $K_d=0$ .

**Palabras claves:** Procesos Industriales Automatizados, Controlador PID, Fabricación de Cerveza Artesanal.

### Como citar

N. Fernández Ángel, A. Acho Jesús, y R. J. Palomares Orihuela, «Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID », *Perfiles\_Ingenieria*, vol. 19, n.º 19, pp. 135-148. jun. 2023.

### ABSTRACT

In the investigation, each piece of the mini-plant was designed by SolidWorks software, for the tanks stainless steel material was considered due to its high resistance to corrosion. The electrical analysis consisted of the design of the electrical panel and the distribution of the electrical equipment, considering a low voltage motor, four recirculated pumps and two heating resistors for the maceration and cooking tanks, complying with the operation and with the proposed objective; the calculation of the amount of power that the mini-plant works was made. For the control system, a PLC was programmed and simulated by HMI which allows the operator to easily manipulate the four processes. The temperature in the mashing and cooking processes are controlled by a PID. As a result, it was possible to design and simulate the mechanical behavior, achieving positive pressures, minimum stresses of 0 MPa and maximum stresses of 10.39 MPa with a yield point of 206.8MPa and a safety factor of 11, for the supports, and 0.01 MPa and a maximum of 29.42 MPa with a yield limit of 137.9 MPa and a safety factor of 4.7 for the tank covers. A power consumption analysis was carried out, obtaining 3473W as a result. With the Matlab software, it was possible to program and tune a PID temperature controller, resulting in  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  and  $K_d=0$ .

**Keywords:** Automated Industrial Processes, PID Controller, Craft Beer Brewing

Este artículo está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Portal de la Marca Perú, en el 2015, el mercado de la cerveza artesanal aún se encuentra en expansión en nuestro país. Se vende anualmente aproximadamente 1 millón y medio de litros, cuyos precios oscilan entre 15 y 20 soles por litro. La cerveza artesanal representa únicamente el 0.01% del mercado total de cervezas y es considerada como un producto con alto potencial.

Según la IFR Statistical Department, el parque de robots en el año 2013 en América Central y del Sur era de 9600 unidades, de estos el Perú solo contaba con unos 20, que fueron instalados usando recursos tecnológicos extranjeros, ya que nuestro país no estaba preparado para proveer el personal técnico adecuado para las labores de implementación y mantenimiento.

Estos últimos años, se ha iniciado un real interés por automatizar el sector productivo en el Perú. Muchas empresas han comenzado a introducir la automatización y los robots industriales en sus procesos de producción, por ejemplo, empresas de fabricación en el sector alimenticio, de estructura metálicas (soldadura), de cemento, de la industria pesquera y en la manipulación y empaque en todos los rubros de producción. Debido a la globalización, las empresas peruanas han comprendido que compiten con otras de todo el mundo y que la única forma de hacerlo es automatizando, es decir mejorando su productividad, calidad y confiabilidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto abarca la mini-planta cervecera que es controlado por el PLC en la cual se puede conectar los componentes eléctricos para posterior hacer la programación adecuada del funcionamiento de la planta para su elaboración de la cerveza artesanal, tal como se muestra en la figura 1.

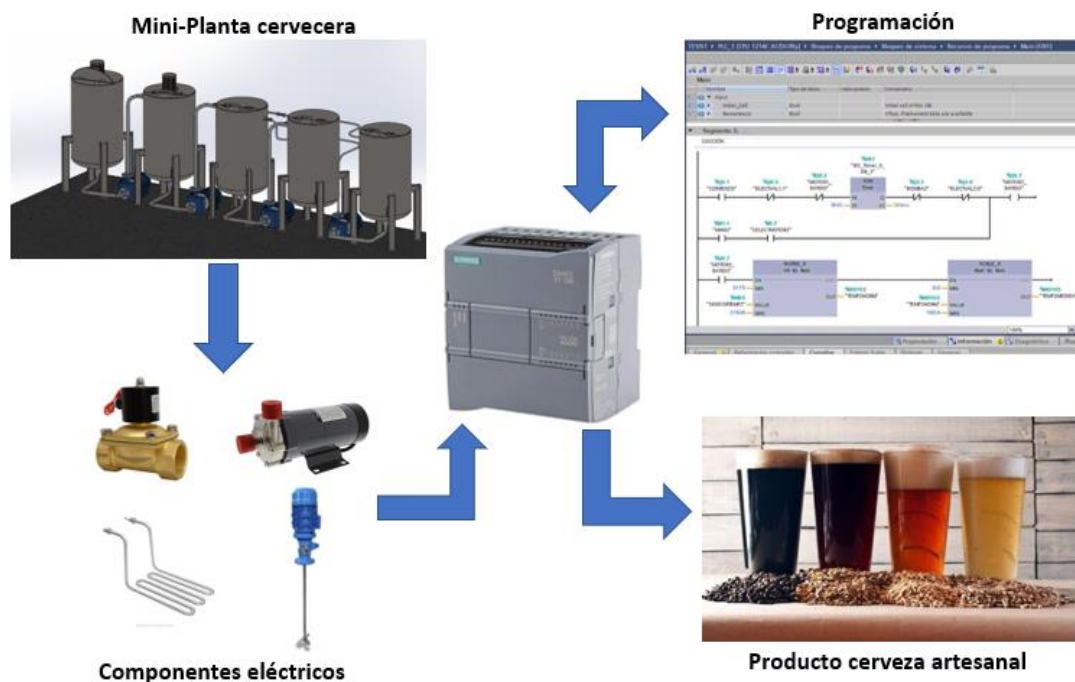


Figura 1. Proyecto de la elaboración de la cerveza artesanal

En la figura 2 detalla el procedimiento que conlleva esta etapa del diseño de la planta.



Figura 2. Flujograma del desarrollo de la solución propuesta

### Diseño de los tanques

El diseño propuesto del tanque de maceración y cocción consta de 4 partes: tapa, agitador, filtro y cubierta, lo que se muestra en la figura 3.

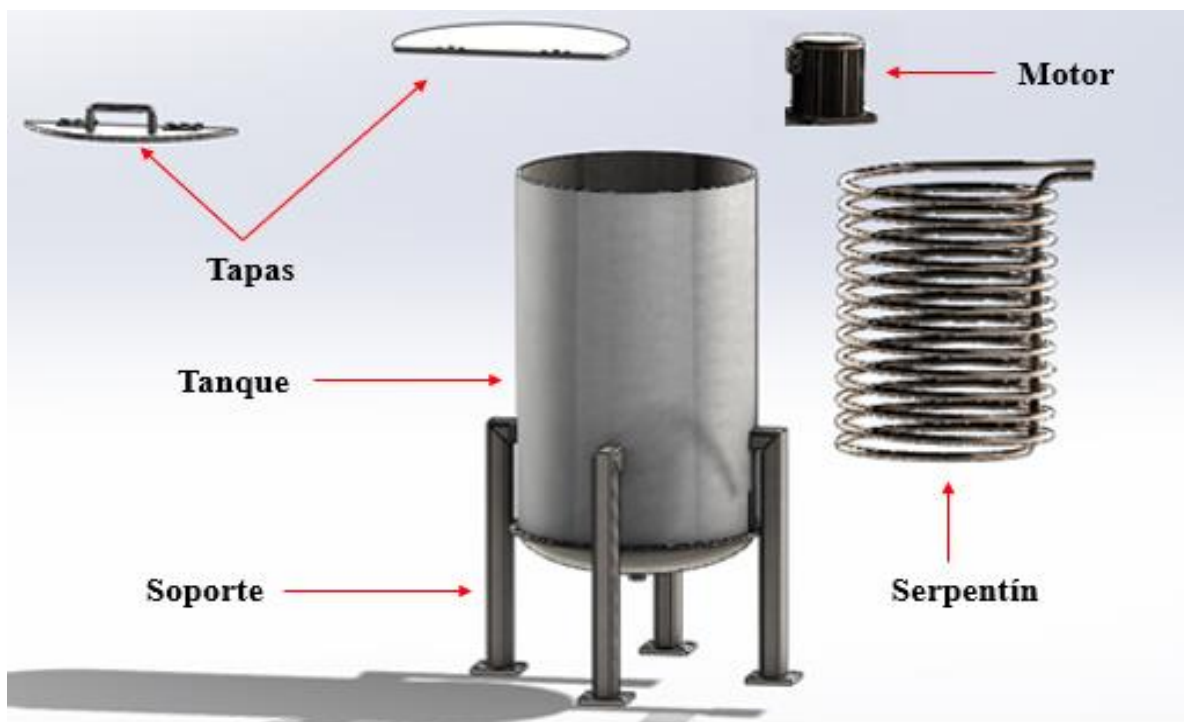


Figura 3. Diseño de las partes del tanque

En la figura 4 se puede visualizar como es que dentro del tanque influyen las presiones de todas las paredes de este, observando que no posee ninguna fuga de presión ya que podemos ver que todas las flechas rojas se encuentran dentro del tanque, lo que se muestra son fugas de presión hidrostática.

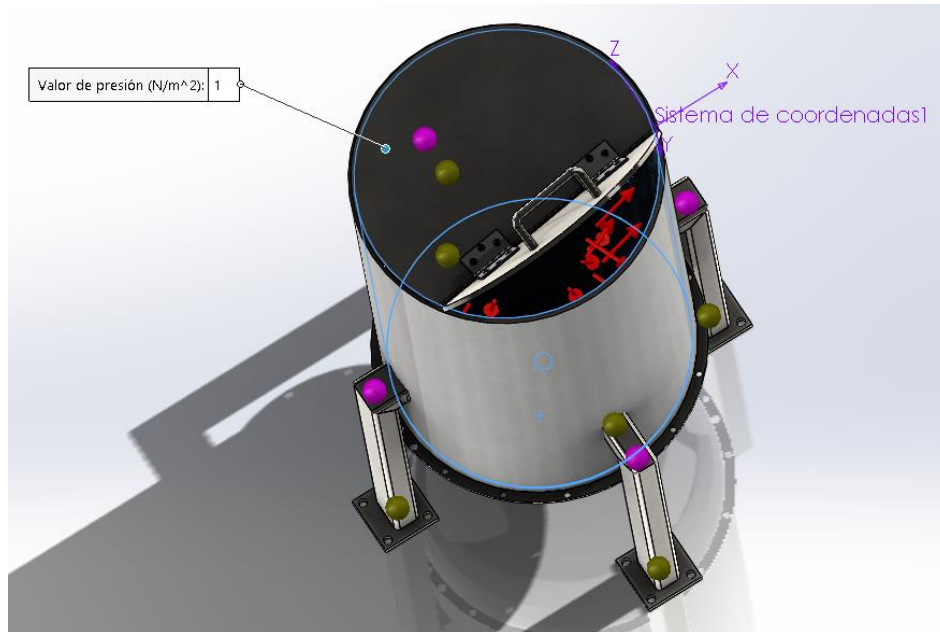


Figura 1. Presión hidrostática del tanque

### Tablero eléctrico

El montaje del tablero eléctrico es realizado por el software AutoCAD Electrical la cual cuenta con ocho interruptores termomagnéticos, seis contactores eléctricos, tres fusibles, fuente de 24 VDC, PLC S71200 CPU1214C AC/DC/RLY y módulos de entradas digitales. En la figura 5 muestra las dimensiones exteriores del tablero eléctrico.

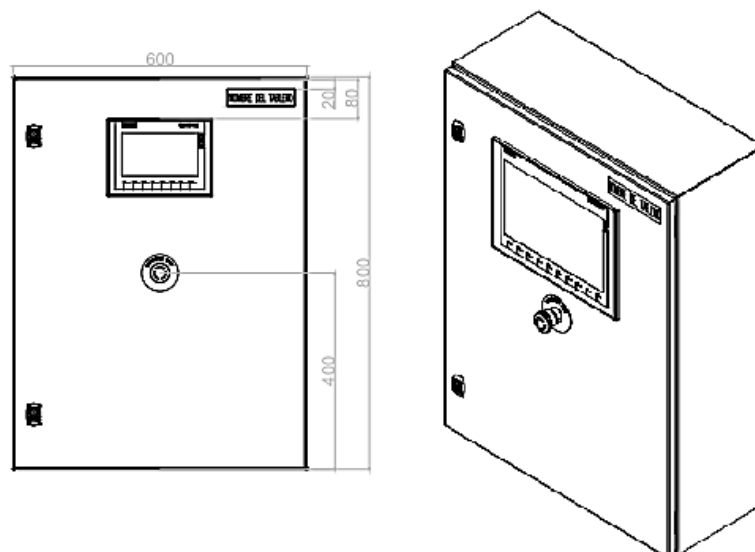


Figura 2. Esquema del tablero eléctrico-vista exterior

### Cálculo para determinar la bomba

Las bombas están diseñadas de diferentes potencias, capacidad, consumo eléctrico, entre otros; la selección de la bomba a utilizar se evaluó de acuerdo con la aplicación, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de tipos de bombas

Características	Bomba de recirculado	Bomba magnética
Cabezal	Acero 304	Plástico
Potencia	10W-220V	10W-240V
Velocidad de flujo	16 a 19 l/m	12 a 19 l/m
Roscal	1/2"	1/2"
Max. temperatura	Hasta 140°C	Hasta 90°C

**Nota:** [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-440656429-bombarecirculado-para-cerveza-cabezal-acero-inoxidable-304-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-440656429-bombarecirculado-para-cerveza-cabezal-acero-inoxidable-304-_JM)

La bomba que se seleccionó para esta aplicación es la bomba recirculada, ya que cuenta con una mayor capacidad de velocidad de flujo y soporta mayor temperatura debido a que trabajaremos a temperaturas muy altas.

### Selección de PLC

Para seleccionar el tipo de controlador lógico programable se elaboró un cuadro comparativo para determinar qué equipo se adecua mejor a la aplicación de la automatización de la elaboración de cerveza artesanal, así como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Características de controladores lógicos programables

Características	PLC S7-1200	LOGO V8
Diseñado	Para tareas más complejas	Para tareas sencillas
Software	TIA PORTAL	LOGOSOFT
Precios	500/800 USD aprox.	350/200 USD aprox.

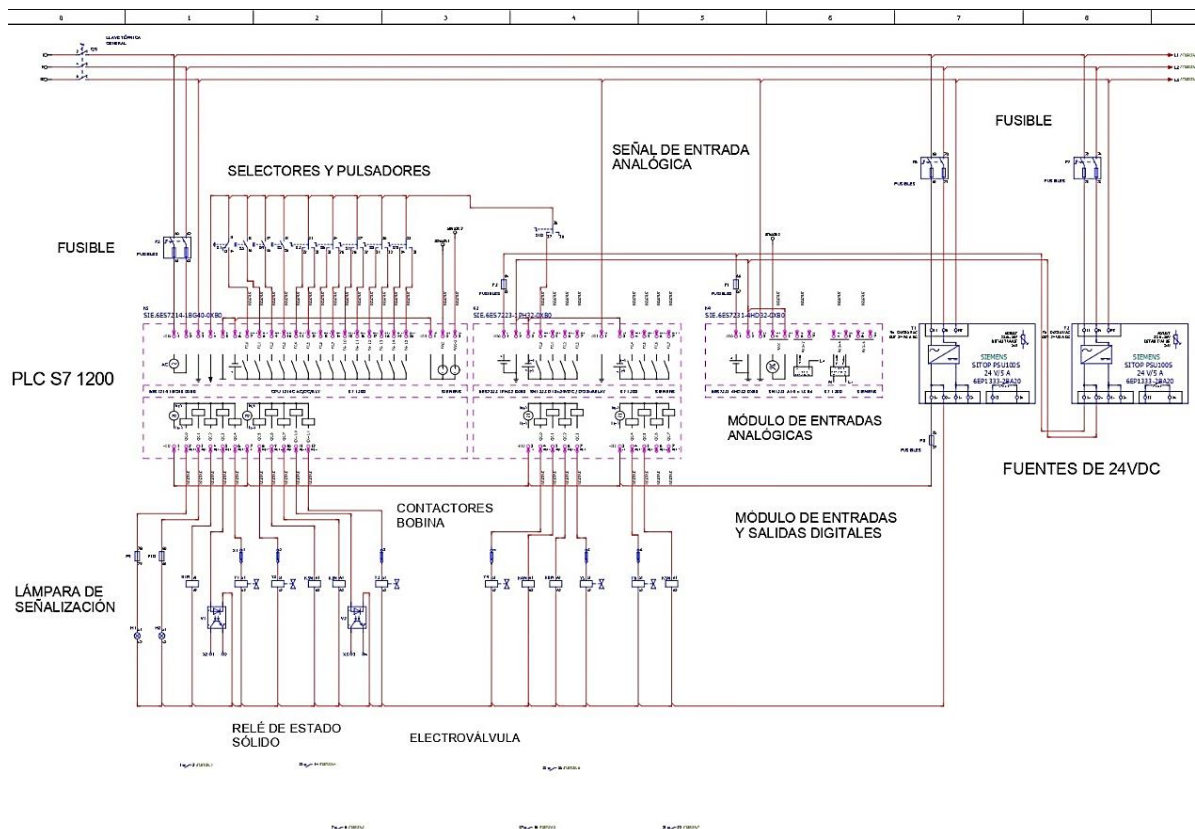
Planta de fabricación de cerveza artesanal de 120 litros utilizando PLC y un control de temperatura PID

Entradas	14 entradas digitales y 2	4 entradas digitales y 4 entradas analógicas
Salida	10 salidas digitales	4 salidas digitales
Suministro de voltaje	24V DC	12/24 V DC

**Nota:** <https://halud.co/tienda/plc-s7-1200-cpu-1214c-ac-dc-rlly-2/>

Se seleccionó un controlador PLC S71200 CPU1214C AC/DC/RLY, debido a que este dispositivo consta de 14 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 10 salidas digitales y alimentado con 220VAC Monofásica.

En la figura 6 se muestra el circuito de control para la automatización de la Mini-planta de 120 litros.



		Fecha	8/12/2021	TESIS		UNIVERSIDAD	MINI-PLANTA DE 120 LITROS AUTOMATIZADA	
		Revisó	ACER			RICARDO PALMA	UTILIZANDO PLC Y UN CONTROL DE	
		Proyecto		TESIS DE INGENIERIA MECATRÓNICA			TEMPERATURA PID PARA LA FABRICACIÓN DE	
mba	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por	Sustituido por		CERVEZA ARTESANAL	CIRCUITO ELÉCTRICO

Figura 6. Circuito de control de la mini planta

### Diseño de control Diagrama de flujo general del proceso

Se elaboró un diagrama de flujo señalando la secuencia de las etapas que implica el proceso de la elaboración de la cerveza artesanal, así como se muestra en la figura 7.

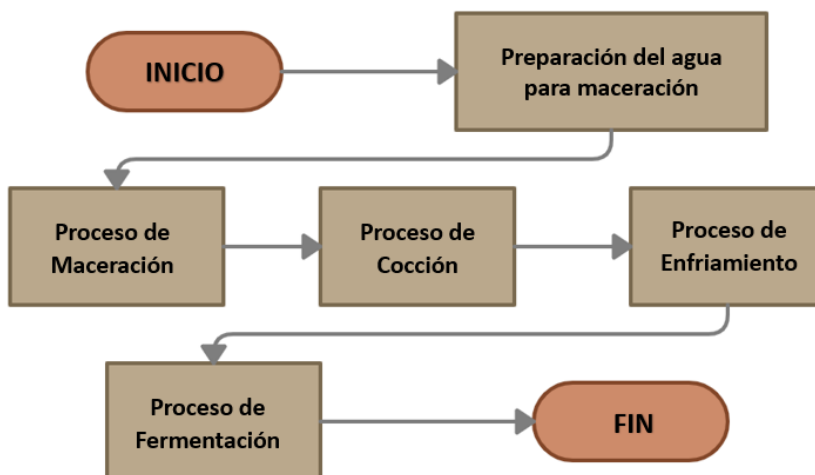


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la cerveza

### Lenguaje Ladder del proceso

Se elaboró la programación de lenguaje Ladder para cada proceso que contiene la elaboración de la cerveza artesanal. La señal que habilita todo el segmento es "comienzo", se enciende el agitador del segundo tanque que tiene como señal "motor2batido", esta se apaga automáticamente cuando la bomba 2 y la electroválvula 2.0 se enciendan, como podemos observar el agitador también se puede encender de manera manual con la señal de "selectmotor2". Luego el tanque se calienta y cuando transcurre un determinado tiempo observaremos la normalización y escalamiento de la señal analógica captada por el sensor de temperatura, tal como se muestra en la figura 8.

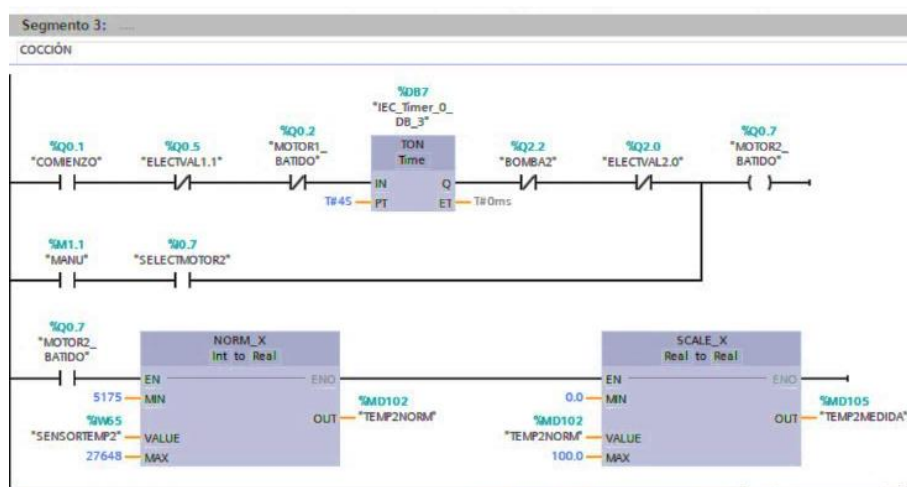


Figura 8. Encendido de agitador en el proceso de cocción

### Modelo dinámico del tanque de calentamiento

Para el desarrollo del calentamiento del ruido por medio de un tanque, lo que se aplica es un balance de energía dinámico. Tomamos como suposición que ciertas propiedades se mantiene constante como densidad, el tanque se encuentra mezclado, calor específico a presión constante ( $C_p$ ), el volumen, entre otras, también la pérdida de calor hacia el exterior es despreciable, esto significa que la temperatura que está dentro del tanque es totalmente uniforme y es del mismo valor a la temperatura que sale, ver figura 9.

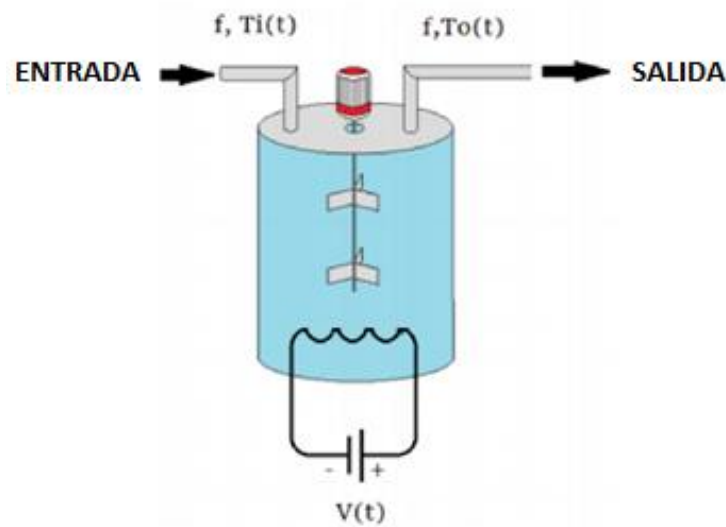


Figura 9. Tanque de mezclado con resistencia eléctrica

Con el programa Matlab se programó la ecuación encontrada y logrando hallar las variables  $K_d$ ,  $K_i$  y  $K_p$  de la planta. Usando la función de transferencia y el comando “PidTune”, la cual muestra la señal, da como resultado a  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  y  $K_d=0$ , ver figura 10.

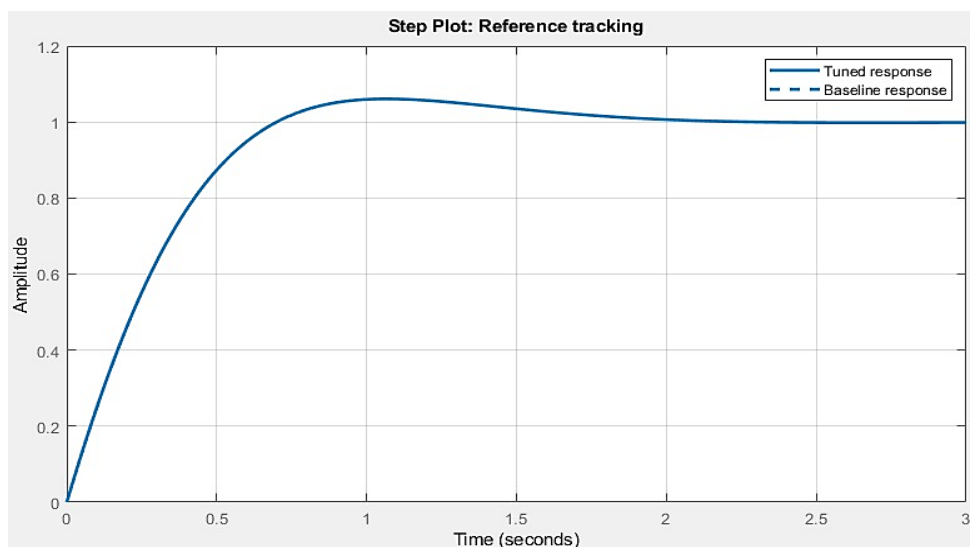


Figura 10. Gráfico de la señal PID



## 1. RESULTADOS

Se detallan los resultados obtenidos en el desarrollo de la mini planta de 120 litros automatizada, tanto en el diseño mecánico, eléctrico y programación con el PLC y HMI.

### Resultados de tanques

Se realizó el diseño y la simulación en el software SolidWorks para conocer el esfuerzo al cual está sometido, las deformaciones que experimenta y el factor de seguridad. Habiendo realizado el análisis del apoyo de la tapa y el agitador con los tanques y considerando el área determinada, se le aplica una carga de 147.15 N, como se observa en la figura 11.

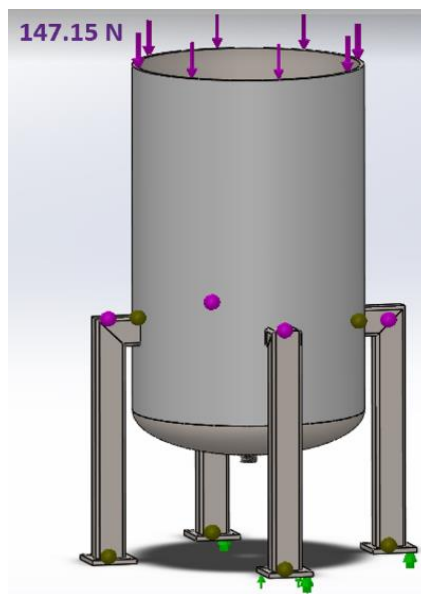


Figura 11. Tanque con las fuerzas aplicadas

Se realizó el análisis de las deformaciones de las tapas de los tanques para conocer qué tanto se alargan en el instante que el motor es posicionado sobre la tapa, como se observa en la figura 12, tiene una deformación mínima de 0 mm y una máxima de 0.000075 mm, siendo una deformación mínima, lo que hace que las dimensiones consideradas sean adecuadas.

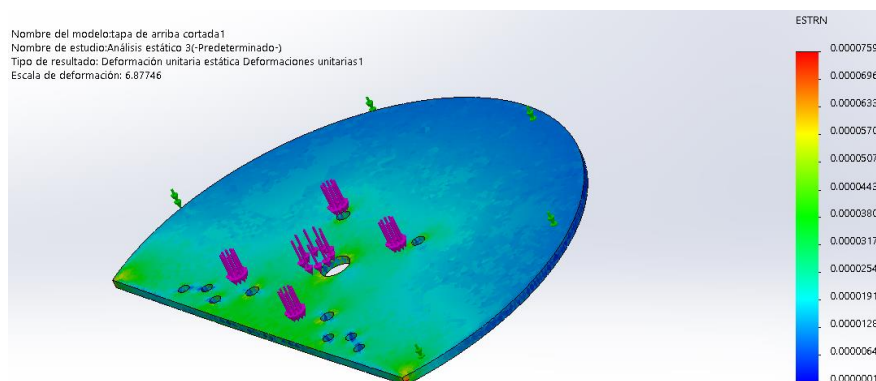


Figura 12. Análisis estático de las deformaciones de los brazos del pallet

## Resultados de la programación en PLC y HMI

Para la simulación del PLC se usó el PLCSIM V16, este es un software de Siemens que permite crear un PLC virtual y con ello se puede simular la programación que se realizó en el TIA Portal, creando una tabla de variables de todo lo que se desea mostrar en el software de simulación.

Una vez establecida la conexión entre el TIA Portal y el PLC virtual (PLCSIM) se puede activar o desactivar las entradas del proceso en la misma programación realizada en el TIA Portal, al iniciar esta función, el aspecto de la programación se muestra como en la figura 13, donde se observa que las entradas o salidas que estén activados se muestran en color verde.

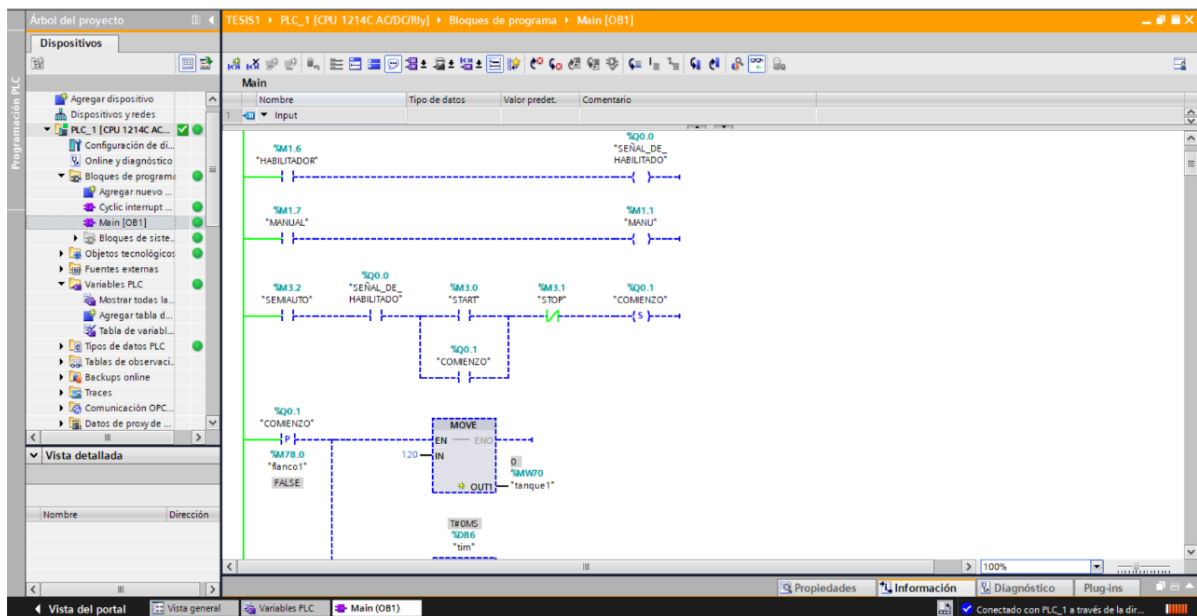


Figura 13. Vista del aspecto de la programación cuando está activada la observación de la simulación del PLCSIM

En la figura 14 se visualiza el funcionamiento, donde se muestran los selectores (Verde sistema habilitado, rojo sistema en funcionamiento manual desactivado y verde sistema en funcionamiento automático), las temperaturas en grados centígrados, verde la activación física de los componentes eléctricos (agitador 1, resistencia 1) y el tanque lleno realizando el primer proceso, maceración.

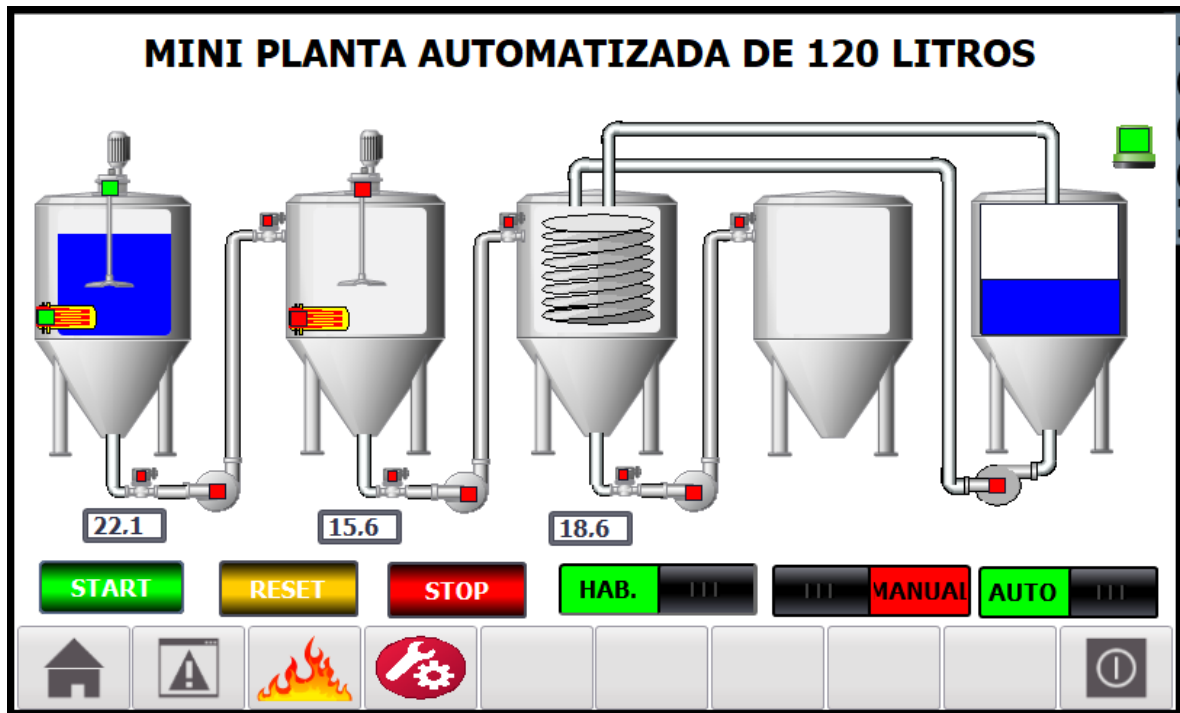


Figura 14. Pantalla principal de SIMATIC HMI

En la figura 15 se detalla estos puntos de la pantalla de temperatura y tiempos del proceso de la elaboración de cerveza:

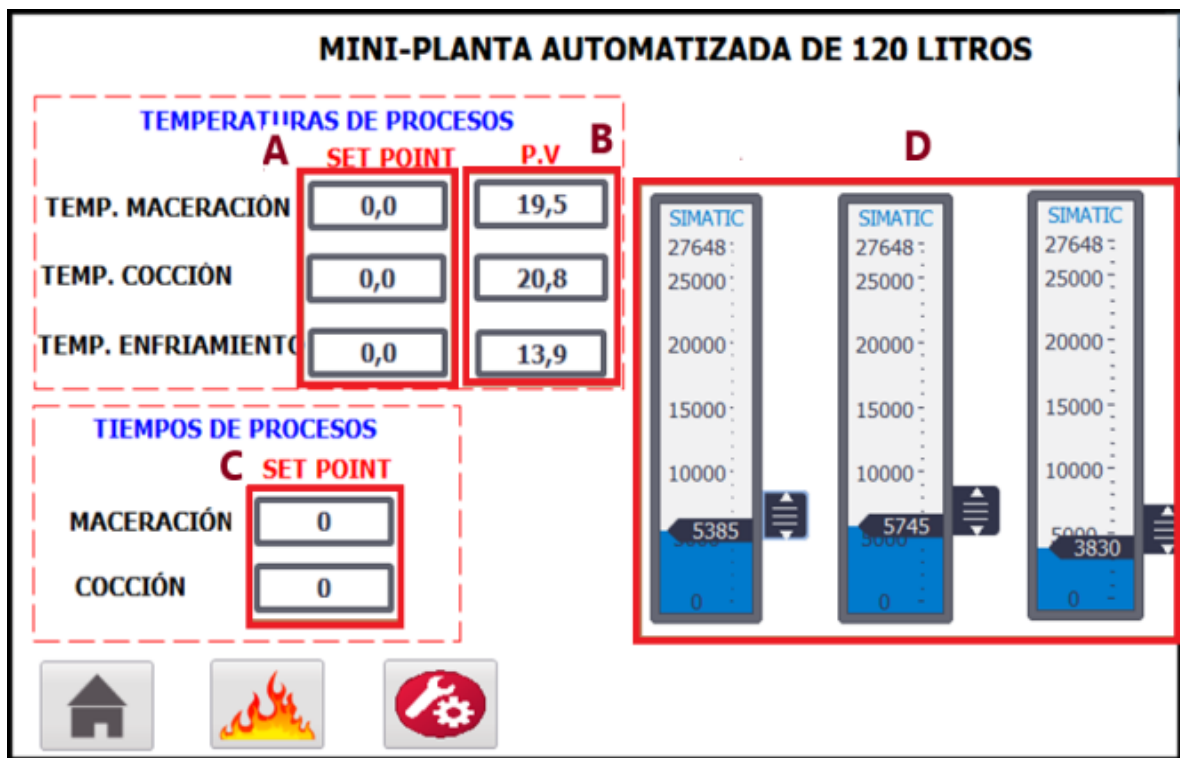


Figura 15. Pantalla de temperatura y tiempos del proceso

### Resultados de la parte eléctrica

Se realizó un análisis de consumo de potencia que tiene nuestra planta, así como se muestra en la tabla 3, se observa las potencias que tiene cada equipo y obtuvo una potencia total de 3473 Wats.

Tabla 3. Cuadro de cargas de los equipos

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Total, de Potencia (W)
Bomba recirculada	4	25	100
Motor 1RF2	2	186.4	373
Resistencia calentadora	2	1500	3000
		<b>TOTAL</b>	<b>3473</b>

Al haber un posible evento de corte energía, se realizó el cálculo de potencia requerido de un grupo electrógeno, de acuerdo con la ecuación 1.

$$kVA = \frac{kW}{FP} \quad (1)$$

Donde:

KVA = Kilovoltiamperios

kW = Kilovatio

FP = Factor de potencia (0.8)

$$KVA = \frac{3.473 \text{ kW}}{0.8} = 4.34 \text{ kVA}$$

Y por seguridad siempre se le aumenta un 20% más a la carga, entonces sería.

$$4.34 + 20\% = 5.2 \text{ kVA}$$

Finalmente, se obtiene un grupo electrógeno que trabaje a 5.2 kVA para soportar toda la energía de la mini-planta cervecera.

## 2. CONCLUSIONES

- Se realizó pruebas en SolidWorks de análisis de presión hidrostática para los tanques, análisis de tensión de Von Mises y FDS, dando como resultado presiones positivas sin fugas de presión para los tanques, tensiones mínimas de 0 MPa y máximas de 10.39 MPa con límite de fluencia de 206.8MPa y factor de seguridad de 11, para los soportes, y 0.01 MPa y una máxima de 29.42 MPa con límite de fluencia de 137.9 MPa y factor de seguridad de 4.7 para las tapas de los tanques.
- Se realizó el diseño en Eplan y se hizo un análisis de consumo de potencia con las cargas eléctricas más elevadas, la cuales fueron 4 bombas recirculadas de 25 W, 2 motores 1RF2 de 186.4 W y 2 resistencias calentadoras de 1500 W, dando como resultado 3473 W.
- Se utilizó un PLC S7-1200 energizado a 220 VAC se pudo controlar 06 electroválvulas, 2 relés de estado sólido y 06 contactores, todos los dispositivos eléctricos-electrónicos mencionados cuentan con bobinas de 24VDC, para la simulación se usó el software TIA Portal V16, el cual permitió enlazarnos tanto al HMI con el PLCSIM mediante marcas M0.0.
- Se utilizó el método 02 de Ziegler Nichols, con cual se halló la ecuación de transferencia y con el software Matlab se pudo sintonizar teniendo como resultado  $K_p=35.8$ ,  $K_i=120$  y  $K_d=0$ .

## 3. REFERENCIAS

- Barrientos, A. y Gambao, E. (2014). *Sistemas de Producción Automatizados*. Madrid, España: Editorial Dextra.
- Boris de Mesones (2015). *Proceso de elaboración básico y simplificado*. Madrid, España.
- Karl, A. (2016). *Manual de elaboración de cerveza artesanal*. Arica, Chile
- Karl, J. (2009). *Control PID avanzado*. Madrid, España: Editorial Pearson Educación.
- Marcos, G. (2017) *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales*. Carolina del Norte, Estados Unidos: Editorial Pearson Educación.
- Mateo, E. (2011). *Controlador Logico Programable*. Universidad politécnica salesiana, Quito, Ecuador.
- Terán, M. (2018) *Diseño e implementación de un sistema de automatización para una línea de producción de cerveza artesanal*. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19450>

## **Trayectoria académica**

Neyra Fernández Ángel

Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Ricardo Palma

Autor corresponsal. [neyrafernandez@urp.edu.pe](mailto:neyrafernandez@urp.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0003-3526-6100>

Acosta Acho Jesús

Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Ricardo Palma

[acosta.acho@urp.pe](mailto:acosta.acho@urp.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-5718-3317>

Ricardo J. Palomares Orihuela

Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Nacional de Ingeniería, doctor en Ciencias de la Educación, magister en Ciencias de la Educación con mención en Docencia Universitaria y maestría en Ciencias de la Electrónica con mención en Ingeniería Biomédica. Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Ricardo Palma. Senior Member IEEE. Miembro Profesional RAS, EMBS, ComSoc y EduSoc - IEEE. Investigador RENACYT – Nivel VI.

[rpalomares@ieee.org](mailto:rpalomares@ieee.org)

<https://orcid.org/0000-0001-9076-3674>