



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN**

**“AUTOMATIZACIÓN HORNO PLANTA INDUSTRIAL FANDA”**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de INGENIERIA DE EJECUCIÓN EN  
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN  
INDUSTRIAL

Alumno: Gonzalo Israel Álamo Salcedo

Profesor Guía: Ricardo Vera

**2025**



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título  Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Automatización horno planta industrial Fanda

Nombre del candidato(a): Gonzalo Israel Álamo Salcedo

Carrera / Grado: Ingeniería de ejecución en control e instrumentación industrial

Campus: Sede Concepción

Departamento: Electrónica e informática

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ricardo Ignacio Vera González, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses  12 meses  2 años  3 años  5 años  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

---

---

---

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 05 de enero del 2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 05 de enero del 2026 Firma: 

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

***“A mi familia”***

## **Agradecimientos**

**"A mi familia", por su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante durante todo el desarrollo de mi carrera y la culminación de este trabajo de titulación.**

**Deseo expresar mi sincero agradecimiento a:**

**Don Ricardo Vera, Profesor Guía, por su valiosa orientación, conocimientos, y la disponibilidad para revisar y dirigir este proyecto de automatización, elementos clave para el éxito de la memoria.**

**La Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción, por la formación académica de calidad que me ha brindado las herramientas necesarias para la realización de este proyecto de ingeniería en Control e Instrumentación Industrial.**

**La empresa Cecinas Fanda, por la oportunidad de aplicar mis conocimientos y desarrollar este proyecto en su planta industrial, y a su personal por su disposición y colaboración durante la etapa de levantamiento de información.**

**A todos los profesores y compañeros que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación profesional y al desarrollo de esta tesis.**

## **Resumen**

El presente trabajo de título consiste en la automatización de un horno industrial, utilizando la implementación de instrumentación y desarrollo del control sobre este proceso, con el propósito de aumentar la seguridad y la producción en la fábrica donde se llevará a cabo este proyecto.

## Glosario

- HMI: Human Machine Interfaz. Sistema o dispositivo que permite la comunicación y control entre la persona (operario) y la máquina o proceso.
- PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller). Aparato electrónico de operación digital que utiliza una memoria programable para el control de procesos industriales mediante lógica, secuenciación, y funciones aritméticas.
- PID: Proporcional-Integral-Derivativo. Algoritmo de control de lazo cerrado utilizado para calcular una acción de control que minimiza la diferencia entre una variable de proceso y su punto de consigna (setpoint).
- RTD: Resistance Temperature Detector. Sensor de temperatura que utiliza la variación de la resistencia eléctrica de un material (como el Pt100) con la temperatura.
- TT-01: Transmisor Indicador de Temperatura. Instrumento que mide la temperatura actual del horno y envía la señal (4-20 mA) al PLC para el control PID.
- PG-01: Indicador de Presión. Instrumento que mide la presión en el horno y envía la señal (4-20 mA) al PLC para monitoreo y seguridad.
- TV-01: Válvula de Control de Temperatura. Actuador con capacidad modulante que regula el caudal de energía/calor (agua caliente/vapor) hacia el horno, controlado por el PLC.
- PROFINET/ETHERNET: Protocolo de comunicación industrial utilizado para el intercambio de datos entre el PLC y el HMI.
- T\_sp: Temperatura de Setpoint (Consigna). Valor de temperatura requerido por la receta que el sistema de control debe mantener.
- T\_pv: Temperatura de Proceso (Process Variable). Lectura de la temperatura actual del horno, proveniente del sensor TT-01.
- t\_coc: Tiempo de Cocción. Tiempo preestablecido por la receta para mantener el producto a la temperatura de consigna.
- TIA Portal: Totally Integrated Automation Portal. Software de Siemens utilizado para la configuración del hardware, programación del PLC y diseño del HMI.

## Índice General

1. Introducción.....	1
2. Proyecto.....	2
2.1. Objetivo General.....	2
2.2. Objetivos Específicos.....	3
2.3. Planteamiento del problema.....	4
2.4. Solución al problema.....	5
3. Descripción de la planta.....	6
3.1. Presentación de la planta.....	6
3.2. Funcionamiento del proceso.....	6
3.3. Componentes de planta.....	7
4. Marco Teórico.....	8
4.1. Introducción a la Automatización Industrial.....	8
4.1.1. Definición.....	8
4.1.2. Objetivos.....	8
4.2. Componentes de un sistema automatizado.....	9
4.2.1. Controladores Lógicos Programables (PLC).....	9
4.2.2. Sensores y Actuadores.....	10
4.2.3. Interfaz Hombre-Máquina (HMI).....	12
4.3. Beneficios de la Automatización.....	12
4.3.1. Eficiencia y Productividad.....	12
4.3.2. Calidad.....	13
4.3.3. Seguridad.....	13
4.4. Consideraciones.....	14
4.4.1. Costos Iniciales.....	14
4.4.2. Mantenimiento.....	15

5. Desarrollo del proyecto.....	16
5.1. Descripción del proceso automatizado.....	16
5.2. Componentes.....	16
5.3. Layout.....	18
5.4. Programación .....	19
5.4.1. Configuración de Hardware y Comunicaciones.....	19
5.4.2. Lógica de Control por Recetas (Diagrama de Flujo) .....	19
5.4.3. Implementación del Control PID.....	20
5.5. HMI.....	20
6. Conclusiones.....	23
7. Recomendaciones.....	24

## 1. Introducción

La automatización de un horno industrial es un proceso clave en la modernización y optimización de la producción en diversas industrias. La automatización industrial se refiere al uso de tecnologías avanzadas para controlar y monitorear procesos industriales, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la seguridad y la calidad de los productos. En el caso de los hornos industriales, la automatización implica la integración de sistemas de control que regulan variables críticas como la temperatura, el caudal, y el tiempo de cocción.

## 2. Proyecto

### 2.1. Objetivo General

La automatización del horno industrial tiene varios objetivos generales que buscan mejorar la eficiencia y la productividad del proceso. Primeramente, se pretende incrementar la productividad, la automatización permite que los procesos se realicen más rápidamente y con menos errores, lo que aumenta la producción y la competitividad de la empresa. Bajo el mismo contexto se puede reducir costos, ya que, al automatizar, se optimiza el uso de recursos y se disminuyen las pérdidas de tiempo, lo que reduce los costes de producción. Otro objetivo es mejorar la calidad del producto, la automatización ayuda a mantener un control constante y preciso de las condiciones del horno, lo que mejora la calidad y la uniformidad de los productos. No se puede pasar en alto aumentar la seguridad, al eliminar la necesidad de intervención manual en tareas peligrosas, se mejora la seguridad de los operarios. Estos objetivos no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a un entorno de trabajo más seguro y a una mejor calidad del producto final.

## 2.2. Objetivos Específicos

Para la automatización de un horno industrial, los objetivos específicos pueden variar según las necesidades y el tipo de horno, pero generalmente incluyen:

- Control preciso de la temperatura: Implementar sistemas de control que mantengan la temperatura dentro de rangos específicos para asegurar la calidad del producto.
- Monitoreo y registro de datos: Automatizar el monitoreo y registro de parámetros críticos como temperatura y tiempo de cocción para análisis y optimización continua.
- Optimización del consumo energético: Desarrollar algoritmos que ajusten el uso de energía en tiempo real para minimizar el consumo sin comprometer la calidad.
- Seguridad operativa: Reducir la intervención manual de los operarios para que sea un proceso más seguro implementando un PLC, válvulas automáticas, sensores de temperatura y control por HMI.
- Programación PLC: Se va a implementar un PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC, en el cual se va a crear el programa para el control desde el HMI
- Creación Pantalla HMI: Se va a crear un control HMI par que el operario elija el programa deseado según el producto que se requiera elaborar
- Automatización de procesos de carga y descarga: Implementar sistemas automáticos para la carga y descarga de materiales, mejorando la eficiencia y reduciendo el tiempo de inactividad.

Integración con sistemas de gestión: Conectar el horno con sistemas de gestión de la producción (MES) para una mejor planificación y control de la producción

### 2.3. Planteamiento del problema

La problemática detectada se localiza en la etapa de cocción del proceso productivo de la planta industrial Fanda, dedicada a la elaboración de cecinas. Actualmente, esta etapa es llevada a cabo de forma totalmente manual, lo que introduce una serie de deficiencias críticas que comprometen la calidad del producto, la eficiencia operativa y la seguridad del personal.

Los problemas identificados son:

- Falta de Precisión y Uniformidad en la Calidad:

La temperatura se mide manualmente con un termómetro de mano, lo que resulta en lecturas intermitentes e imprecisas.

El tiempo de cocción se mide con un cronómetro manual. Esta dependencia del juicio y la intervención humana directa genera variaciones en la temperatura y el tiempo de cocción, afectando la calidad y la uniformidad del producto final (cecinas).

- Baja Productividad y Eficiencia Operativa:

La operación manual requiere la presencia constante del operario para monitorear y ajustar las variables, lo que disminuye la eficiencia y el uso óptimo de los recursos.

La gestión manual de los parámetros de cocción (tiempo y temperatura) por producto es propensa a errores, lo que puede llevar a reprocesos o pérdidas de materia prima, limitando el incremento de la producción.

- Riesgos para la Seguridad Operacional:

La necesidad de intervención manual directa en un ambiente de altas temperaturas y vapor dentro del horno industrial expone a los operarios a riesgos de accidentes, lo que contraviene el objetivo de aumentar la seguridad en la fábrica.

En resumen, el proceso actual del horno es inconsistente, ineficiente y arriesgado, siendo el principal impedimento para la modernización, el aumento de la productividad y la estandarización de la calidad del producto.

## 2.4. Solución al problema

La solución al problema planteado es la Automatización del Horno Industrial mediante la implementación de un sistema de control basado en un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz Hombre-Máquina (HMI).

Esta solución de ingeniería aborda los problemas detectados de la siguiente manera:

- Estandarización y Control de Calidad: Se implementará un lazo de control cerrado para las variables críticas (temperatura y presión).

La instalación de un transmisor indicador de temperatura (TT-01) y un indicador de presión (PG-01) garantizará el monitoreo y registro de datos preciso y constante.

El PLC ejecutará un control preciso de la temperatura mediante un algoritmo PID que regulará la apertura de las válvulas automáticas de suministro de energía/calor.

Se implementará un sistema de "Programa por Recetas" en el HMI, permitiendo al operario seleccionar el producto, y el sistema cargará automáticamente la temperatura y el tiempo de cocción preestablecidos, asegurando la uniformidad del producto.

- Mejora de la Productividad y Eficiencia:

La automatización minimiza los tiempos muertos y los errores humanos, permitiendo que los procesos se realicen más rápidamente y con menos errores.

La optimización del uso de recursos y la reducción de las pérdidas de tiempo contribuyen a la reducción de los costos de producción.

- Aumento de la Seguridad Operacional:

Se reducirá la necesidad de intervención manual de los operarios, ya que el control, el monitoreo y la operación de las válvulas se realizarán a través del PLC y el HMI.

El sistema de control podrá generar alarmas automáticas ante condiciones peligrosas (ej. sobrepresión, sobre temperatura), aumentando significativamente la seguridad de los operarios.

Esta automatización no solo mejorará la eficiencia operativa, sino que también consolidará un entorno de trabajo más seguro y una mejor calidad del producto final.

### 3. Descripción de la planta

#### 3.1. Presentación de la planta

Fundada por Don Luis Elgueta Saavedra el año de 1949, Sociedad Elgueta Ltda. conocida comercialmente como Cecinas Fanda. En todos sus años, se ha caracterizado por mantener inalterable su sello de calidad, tradición y sabor, que le ha significado ser una marca reconocida y el producto preferido que adorna las mesas y eventos gastronómicos del consumidor de la provincia de Biobío.

#### 3.2. Funcionamiento del proceso

El proyecto de automatización se centra en la etapa crítica de cocción dentro del proceso productivo de Cecinas Fanda. Actualmente, esta etapa opera bajo un control enteramente manual.

- **Funcionamiento Actual (Manual):**
  1. **Decisión de Producción:** Una persona encargada decide qué producto se va a cocer en función del requerimiento de producción.
  2. **Medición de Temperatura:** La temperatura se mide de manera manual utilizando un termómetro de mano.
  3. **Medición de Tiempo:** El tiempo de cocción se mide con un cronómetro manual.
  4. **Control del Proceso:** El operario debe intervenir manualmente para ajustar el suministro de calor (agua caliente o vapor, según la configuración del horno) basándose en las lecturas esporádicas del termómetro.

#### Análisis de la Etapa (Problemática):

La falta de instrumentación fija y automatizada en este proceso se traduce en una alta dependencia de la experiencia del operario, lo que resulta en variaciones en la calidad del producto y un riesgo operativo elevado. Las variables críticas de temperatura y tiempo no están bajo un control constante y preciso.

- **Funcionamiento Propuesto (Automatizado):**

La automatización busca transformar la operación en un proceso por recetas.

**Instrumentación Clave:** Se instalará un transmisor indicador de temperatura (TT-01) y un indicador de presión (PG-01), controlados por el PLC.

**Operación por Receta:** El operario seleccionará el producto deseado desde la pantalla HMI.

**Control Automático:** Al seleccionar el producto, el sistema cargará automáticamente la temperatura y el tiempo de cocción preestablecidos (setpoint).

**Lazo Cerrado:** El PLC (controlador) recibirá la señal de temperatura actual (variable de proceso) y actuará sobre una válvula modulante (actuador) para asegurar que la temperatura se mantenga constante durante el tiempo de cocción programado.

### 3.3. Componentes de la planta

Los componentes principales que serán objeto de intervención y automatización en el horno industrial son:

Componente	Función actual	Automatización
<b>Horno industrial</b>	Contenedor principal donde se realiza la cocción de los productos.	No se modifica físicamente. Es el recipiente donde se mide y controla el proceso.
<b>Líneas de entrada de energía</b>	Suministro de agua caliente y agua fría, manejadas por válvulas manuales.	Se instalarán válvulas automáticas para ser manipuladas directamente por la señal del PLC.
<b>Línea de descarga</b>	Tubería para la evacuación del contenido, manejada manualmente.	Se instalará una válvula solenoide o de control de flujo para ser operada digitalmente por el PLC al finalizar la receta.
<b>Medición de temperatura</b>	Termómetros a mano intermitentemente.	Se instalará un transmisor de temperatura (TT) y se conectará al PLC como entrada analógica.
<b>Medición de presión</b>	inexistente	Se instalará un indicador de presión y se conectará al PLC para monitoreo y seguridad.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Introducción a la automatización industrial

#### 4.1.1. Definición

Se define la automatización, como el proceso de hacer que las máquinas sigan un orden predeterminado de operaciones con poca o ninguna mano de obra, usando equipo y dispositivos especializados que ejecutan y controlan los procesos productivos. La automatización en todo su potencial se logra usando diversos dispositivos como sensores, actuadores, técnicas y equipos capaces de monitorear y controlar todos los aspectos del proceso de manufactura. Muchas veces surge la pregunta de qué es la automatización industrial. Esto se debe a que esta es una pregunta muy amplia, que involucra varias áreas. La automatización es parte de la transformación digital, que nos permite llegar cada vez más lejos. Y en la industria, es la principal característica responsable de su avance y modernización. Sin la automatización industrial, las empresas difícilmente podrían hacer frente a la creciente y volátil demanda de una población cada vez más exigente.

#### 4.1.2. Objetivos

El principal objetivo de la automatización industrial es mejorar los resultados y garantizar una mayor productividad en la industria. Y esto tiene varias razones, entre ellas la competitividad, el nivel de demanda de los consumidores y también la necesidad de crecimiento. A continuación, se presentan varios indicadores que impulsan su utilización.

##### Incrementar la producción

Al automatizar los procesos de producción, así como diversas tareas estratégicas que agilizan la toma de decisiones y aprobaciones, es posible que la empresa aproveche su capacidad operativa. Así, puedes producir más en menos tiempo.

##### Reducir costos

Con la automatización, puede estandarizar el flujo de procesos y operaciones, antes, durante y después. En otras palabras, estamos hablando de una conciliación integral entre las etapas productivas. De esta manera, es más fácil para el equipo realizar sus rutinas. Con la información correcta a la mano y la tecnología adecuada que ayuda en la ejecución de máquinas y equipos, reduce los costos innecesarios con reprocesos y desperdicios, lo que hace que su equipo esté más enfocado en los resultados y la excelencia en la entrega.

##### Optimizar procesos

La automatización industrial pretende eliminar la dificultad de los procesos y hacer la ejecución lo más objetiva posible. De esta forma, la empresa gana en eficiencia y rapidez, además de optimizar toda la rutina operativa.

## Aumentar la seguridad

El entorno industrial puede ser bastante peligroso, mucho más que otros, al menos. Por lo tanto, al automatizar el piso de producción e incluso los procesos estratégicos que preceden y siguen a la parte operativa, es posible eliminar algunos riesgos. De esta forma, la empresa mejora la seguridad en el trabajo, evitando que ocurran accidentes graves y que atenten primero contra la integridad de su empleado, además de preservar su maquinaria.

## Más precisión en las operaciones

Finalmente, uno de los principales objetivos detrás de la automatización industrial es ver los resultados en la práctica. Y eso significa que la búsqueda de la calidad es real y una de las principales razones para invertir en tecnología.

La automatización mejora el intercambio de información y también alinea las ejecuciones operativas. De esta forma, del mismo modo que se desarrolla mejor el alcance de un producto, su mecanizado y acabado también tienen una mejor producción. Es decir, es un tipo de impacto que va más allá del concepto de “sustituir humanos”, sino que busca primero la eficiencia.

## 4.2. Componentes de un sistema automatizado

### 4.2.1. Controladores Lógicos Programables (PLC)

El PLC es un aparato electrónico de operación digital que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, implementando funciones de lógica, secuenciación, tiempo, conteo y aritmética para controlar procesos mediante módulos de entrada y salida.

Para este proyecto, se ha seleccionado el PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC por sus capacidades integradas de control y su compatibilidad con la plataforma TIA Portal. El ciclo de ejecución del PLC es fundamental para el control del proceso, el cual opera de la siguiente manera:

1. Lectura de Entradas: Escanea las señales de entrada (analógicas y digitales) provenientes de sensores instalados, como TT-01 y PG-01.
2. Ejecución del Programa: Procesa el código de control cargado en su memoria, que incluye la lógica de recetas y el algoritmo de control PID.
3. Activación de Salidas: Activa las salidas (analógicas y digitales) para manipular los actuadores, como la válvula de control de agua caliente.
4. Comunicación: Establece la comunicación con los periféricos, específicamente con el panel de operador HMI a través de PROFINET/Ethernet.
5. Actualización de Registros: Actualiza registros internos esenciales como temporizadores (para el tiempo de cocción) y contadores.

Se utilizará el software TIA Portal para la programación, implementando lenguajes como el Diagrama de Contactos (Ladder Diagram - LD) y el Diagrama de Bloques de Función (Function Block Diagram - FBD), aprovechando los bloques de función de control PID integrados del S7-1200.

#### 4.2.2. Sensores y Actuadores

Un sensor es un dispositivo para detectar y señalar una condición de cambio. Con frecuencia, una condición de cambio, se trata de la presencia o ausencia de un objeto o material (detección discreta). Los sensores hacen posible la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de medición y/o de control, tanto eléctricos como electrónicos, utilizándose en todo tipo de procesos industriales y no industriales para monitorización, medición, control y procesamiento. Actualmente existe en el mercado diferentes tipos de sensores:

- Según el Principio de Funcionamiento

**Sensores de Proximidad:** Detectan la presencia o ausencia de un objeto cercano sin contacto físico. Ejemplos: inductivos, capacitivos, fotoeléctricos.

**Sensores de Temperatura:** Miden la temperatura de un objeto o ambiente. Ejemplos: termopares, termistores, RTD (Resistance Temperature Detectors).

**Sensores de Presión:** Miden la presión de gases o líquidos. Ejemplos: piezorresistivos, capacitivos.

**Sensores de Nivel:** Detectan el nivel de líquidos o sólidos en un contenedor. Ejemplos: flotadores, ultrasonidos.

- Según la Señal de Salida

**Sensores Analógicos:** Producen una señal continua que es proporcional a la magnitud medida. Ejemplo: sensores de temperatura tipo termopar.

**Sensores Digitales:** Producen una señal discreta (todo o nada) que indica la presencia o ausencia de una condición. Ejemplo: sensores de proximidad inductivos.

- Según la Variable Física Medida

**Sensores de Presencia/Proximidad:** Detectan la presencia de objetos. Ejemplos: inductivos, capacitivos.

**Sensores de Caudal:** Miden el flujo de líquidos o gases. Ejemplos: de turbina, de efecto Coriolis.

**Sensores de Humedad:** Miden la cantidad de vapor de agua en el aire. Ejemplos: resistivos, capacitivos.

- Según el Tipo de Medida

**Sensores de Medida Continua:** Proporcionan un valor continuo de la magnitud medida. Ejemplo: sensores de temperatura.

**Sensores de Todo o Nada:** Indican solo dos estados posibles, como encendido/apagado. Ejemplo: interruptores de límite.

- Según el Rango de Valores

Sensores de Rango Amplio: Pueden medir una amplia gama de valores de la magnitud física. Ejemplo: sensores de presión para aplicaciones industriales.

Sensores de Rango Limitado: Están diseñados para medir en un rango específico y limitado. Ejemplo: sensores de temperatura para aplicaciones específicas.

Los actuadores son elementos de potencia que deben poseer la energía suficiente para vencer a las variables físicas que se están controlando, y de esta manera poder manipularlas. Los actuadores dependiendo de la necesidad que se requiere se clasifican de acuerdo a lo siguiente:

- Según la Fuente de Energía

Actuadores Eléctricos: Utilizan energía eléctrica para generar movimiento. Ejemplos: motores eléctricos, solenoides.

Actuadores Hidráulicos: Utilizan líquidos a presión para generar movimiento. Ejemplos: cilindros hidráulicos.

Actuadores Neumáticos: Utilizan aire comprimido para generar movimiento. Ejemplos: cilindros neumáticos.

Actuadores Piezoeléctricos: Utilizan materiales piezoeléctricos que se deforman al aplicarles una corriente eléctrica.

- Según el Tipo de Movimiento

Actuadores Lineales: Producen movimiento en línea recta. Ejemplos: cilindros hidráulicos y neumáticos, actuadores lineales eléctricos.

Actuadores Rotativos: Producen movimiento rotatorio. Ejemplos: motores eléctricos, actuadores rotativos neumáticos.

- Según la Aplicación

Actuadores de Control de Válvulas: Utilizados para abrir y cerrar válvulas en sistemas de control de fluidos.

Actuadores de Posicionamiento: Utilizados para mover y posicionar objetos en sistemas de automatización.

- Según el Mecanismo de Acción

Actuadores Mecánicos: Utilizan mecanismos mecánicos para generar movimiento. Ejemplos: resortes, palancas.

Actuadores Térmicos: Utilizan cambios de temperatura para generar movimiento. Ejemplos: bimetales, actuadores de cera.

### 4.2.3 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite la interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

### 4.3. Beneficios de la Automatización

El objetivo principal de la automatización industrial es mejorar los resultados y garantizar una mayor productividad en la industria. La implementación de un sistema de control para el horno industrial Fanda genera múltiples beneficios que justifican la inversión, impulsando la competitividad y el crecimiento de la empresa.

#### 4.3.1. Eficiencia y Productividad

La automatización permite a la empresa aprovechar al máximo su capacidad operativa, logrando producir más en menos tiempo.

**Incremento de la Producción:** La automatización permite que los procesos se realicen más rápidamente y con menos errores, lo que aumenta la producción y la competitividad de la empresa.

**Reducción de Costos Operacionales:** Al estandarizar y optimizar el flujo de procesos, se minimizan los costos innecesarios asociados a reprocesos y desperdicios. Esto se logra mediante la optimización del uso de recursos y la disminución de las pérdidas de tiempo.

Optimización del Consumo Energético (Específico del Proyecto): Se desarrollarán algoritmos en el PLC que ajusten el uso de energía (agua caliente/vapor) en tiempo real, minimizando el consumo sin comprometer la calidad del producto.

Mayor Disponibilidad del Equipo: Al implementar sistemas automáticos de control, se reduce el tiempo de inactividad por errores operativos o ajustes manuales, lo que maximiza la disponibilidad del horno.

#### 4.3.2. Calidad

La calidad y la precisión en las operaciones son objetivos primordiales de la automatización industrial.

Uniformidad del Producto: La automatización ayuda a mantener un control constante y preciso de las condiciones del horno, especialmente la temperatura y el tiempo de cocción.

Precisión en la Ejecución: La implementación del control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) garantiza que la temperatura se mantenga dentro de rangos específicos con una mínima variación, superando la precisión de la medición manual.

Monitorización y Trazabilidad: El PLC permite el monitoreo y registro de parámetros críticos como temperatura y tiempo de cocción. Estos datos son esenciales para el análisis posterior, la optimización continua del proceso y la trazabilidad del producto, lo que se traduce en una mejor calidad y uniformidad.

#### 4.3.3. Seguridad

La seguridad es un indicador fundamental para la utilización de la automatización. El entorno industrial puede ser peligroso, por lo que la automatización ayuda a eliminar riesgos.

Reducción del Riesgo Humano: Al eliminar la necesidad de intervención manual en tareas peligrosas, como la medición de temperatura en el interior del horno, se mejora la seguridad de los operarios.

Seguridad Operativa Controlada por PLC: La implementación de válvulas automáticas y sensores de temperatura y presión, controlados por un PLC, permite un proceso más seguro. El PLC puede ejecutar secuencias de apagado de emergencia (parada segura) ante lecturas anómalas de presión o temperatura, preservando la integridad del equipo y del personal.

Estos objetivos no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a un entorno de trabajo más seguro y a una mejor calidad del producto final.

#### 4.4. Consideraciones

La implementación de un proyecto de automatización debe considerar no solo los beneficios operativos, sino también la inversión inicial requerida y la planificación del mantenimiento a largo plazo.

##### 4.4.1. Costos Iniciales

Los costos iniciales para la automatización de un horno industrial pueden variar significativamente según el nivel de automatización y las características específicas del equipo. Dado que el horno ya se encuentra en terreno, los costos se centran en la adquisición e instalación de los componentes de automatización.

Los principales factores que influyen en el costo son:

- Nivel de Automatización: Equipos con sistemas avanzados de control y automatización (como el control PID y la gestión de recetas) son más costosos.
- Fabricante y Marca: La selección de marcas de prestigio industrial como Siemens (PLC) o fabricantes específicos de instrumentación afecta el precio.

A continuación, se presenta un ejemplo de la estimación de costos iniciales del hardware principal requerido para la implementación del control del horno.

Componente	Tipo/modelo seleccionado	Función principal	Costo estimado (CLP)
<b>PLC</b>	Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC.	Control central y lógica de recetas.	\$ 325.689
<b>Módulos AQ</b>	Módulo de salida analógica (SM 1232 AQ 2x14 bit).	Control modulante de la válvula TV_01.	\$ 150.000
<b>Transmisor TT_01</b>	Transmisor indicador de temperatura (RTD Pt100 + cabezal 4-20 mA).	Medición precisa de la temperatura del horno.	\$ 85.000

<b>Transmisor PG_01</b>	Transmisor de Monitoreo de presión (Rango 0-10 bar, salida 4-20 mA).	de Monitoreo de presión seguridad.	de \$ 110.000 por
<b>HMI</b>	Panel de operador táctil (KTP700 basic dp).	Interfaz de recetas y visualización.	\$ 280.000
<b>Actuador TV_01</b>	Válvula neumática con posicionador (DN 25).	Regulación fina del caudal de agua caliente.	\$ 750.000
<b>Otros componentes</b>	Gabinete, cableado, protecciones eléctricas, fuente de poder.	Integración y seguridad del sistema.	\$ 300.000

La inversión total no solo considera el costo del hardware, sino también los costos de ingeniería, programación (incluyendo la sintonización PID) y la puesta en marcha.

#### 4.4.2. Mantenimiento

El mantenimiento de los equipos automatizados es crucial para asegurar su durabilidad, eficiencia y seguridad. En el contexto de un sistema de control, el mantenimiento debe enfocarse en la instrumentación y los componentes electrónicos.

- Mantenimiento Preventivo del Hardware:

**Limpieza y Calibración:** Inspeccionar y limpiar periódicamente las superficies externas y los cubículos del PLC y HMI para evitar la acumulación de suciedad y residuos.

**Inspección de Conexiones:** Revisar periódicamente las conexiones eléctricas, el cableado de lazos de control (4-20 \ mA) y las conexiones de comunicación (PROFINET) para detectar posibles daños o desgastes.

**Inspección de Instrumentación:** Calibración periódica de los sensores (TT-01 y PG-01) para asegurar la precisión de las mediciones y el correcto funcionamiento del lazo de control PID.

- Mantenimiento de los Actuadores:

Válvulas: Inspeccionar el estado de las válvulas (TV-01 y solenoides) y sus actuadores para garantizar que respondan correctamente a la señal del PLC y que no presenten fugas o daños.

- Mantenimiento del Software:

Copia de Seguridad: Mantener copias de seguridad actualizadas del programa del PLC y los archivos del HMI para facilitar la restauración rápida en caso de fallos.

- Mantenimiento Predictivo y Correctivo:

Programar revisiones periódicas con técnicos especializados para realizar mantenimiento preventivo y asegurarte de que el equipo esté en óptimas condiciones.

Si se detectan daños o desgastes significativos, realizar las reparaciones necesarias o reemplazar las piezas afectadas (reparación y reemplazo) para mantener el funcionamiento óptimo del equipo.

## 5. Desarrollo del proyecto

### 5.1. Descripción del proceso automatizado

Actualmente la etapa de cocción de los productos se hace de manera totalmente manual, donde una persona encargada decide según el requerimiento cual producto va a cocer, así mismo va midiendo temperatura manualmente con un termómetro de mano y midiendo el tiempo con un cronómetro, la automatización de este proceso consiste en instalar un transmisor indicador de temperatura, un indicador de presión controlados por un PLC, donde se va a crear un programa por recetas, donde el operador podrá seleccionar el producto que desea desde una pantalla HMI, al seleccionar el producto, este ya tendrá seteada la temperatura y tiempo de cocción.

### 5.2. Componentes

La implementación se basa en la instalación de los siguientes componentes, que establecen el lazo de control cerrado para la automatización del proceso de cocción.

TAG	Descripción	Tipo de instrumento	Función en el proyecto	Señal de PLC
<b>PLC_01</b>	Controlador lógico programable.	Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC).	Ejecución del programa de recetas.	N/A.
<b>HMI_01</b>	Interfaz hombre maquina.	- Panel táctil.	Permite al operario seleccionar recetas y monitorear el proceso.	Comunicación PROFINET.
<b>TT_01</b>	Transmisor de temperatura.	de RTD / Termopar + Transmisor 4 – 20 mA.	Mide la temperatura actual del horno para el control PID.	Entrada Analógica.
<b>PG_01</b>	Transmisor de presión.	Sensor de presión 4-20 mA.	Monitoreo de presión en el horno por seguridad.	Entrada Analógica.
<b>AQ-Modulo</b>	Módulo de salida analógica.	Modulo AQ para PLC S7-1200.	Envía la señal de control modulante al actuador de la válvula de agua caliente.	Salida analógica.
<b>TV_01</b>	Válvula de control de temperatura.	Válvula actuador modulante.	con Regula el caudal de agua caliente para mantener el setpoint de temperatura.	Salida analógica.
<b>HV_02</b>	Válvula de agua fría.	Válvula solenoide on/off	Usada para enfriamiento rápido si se requiere.	Salida digital.
<b>SV_03</b>	Válvula de descarga	Válvula solenoide on/off	Controla la evacuación del contenido al finalizar la cocción.	Salida digital.

### 5.3. Layout

El diagrama adjunto representa la instrumentación propuesta. Se utiliza la notación P&ID para identificar el lazo de control, donde el lazo de temperatura es el elemento clave de la automatización.



## 5.4. Programación

La programación del sistema de control se realiza utilizando el software TIA Portal de Siemens, que permite la configuración del hardware, la lógica del PLC y el diseño del HMI desde una única plataforma. El código se estructura para ejecutar un control por recetas y lazos de control cerrados de alta precisión.

### 5.4.1. Configuración de Hardware y Comunicaciones

1. Selección del Controlador: Usando el programa TIA Portal, se selecciona y configura el PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC como el controlador central.
2. Módulos de E/S: Dado que la variable de temperatura (TT-01) y la presión (PG-01) son señales analógicas (4-20 \ mA), se utilizan las entradas analógicas integradas del PLC. Adicionalmente, se agrega un Módulo de Salida Analógica (AQ) para generar la señal modulante de 4-20 \ mA requerida para el control fino del actuador de la válvula TV-01.
3. Comunicaciones: La comunicación entre el PLC y el HMI se establece mediante la red PROFINET/ETHERNET, garantizando una alta velocidad y fiabilidad en el intercambio de datos (variables de proceso, setpoints y alarmas).

### 5.4.2. Lógica de Control por Recetas (Diagrama de Flujo)

El programa principal del PLC opera como un secuenciador de la lógica de recetas. Este diagrama de flujo define los estados del proceso y cómo el sistema realiza la transición entre ellos.

El flujo de control garantiza que el proceso se ejecute de manera segura y repetible:

Explicación de la Secuencia Lógica:

1. Inicio y Espera: El sistema espera en un estado de seguridad hasta que el operario pulsa el botón de inicio en el HMI.
2. Selección de Receta: El HMI transfiere los valores de setpoint de temperatura (T\_sp) y tiempo de cocción (t\_coc) al PLC, que los almacena en sus bloques de datos (DBs).
3. Fase de Calentamiento: El PLC activa el lazo de control PID para comenzar el proceso de calentamiento. La válvula TV-01 (Actuador) se modula para que la temperatura actual (T\_pv) alcance rápidamente el T\_sp.
4. Verificación de T\_sp: Una vez que la temperatura se encuentra dentro de una banda de tolerancia, se activa el temporizador del tiempo de cocción. Si la temperatura cae fuera de la banda, el temporizador se detiene o se resetea.

5. Cocción Completa: Al finalizar el  $t_{coc}$ , el PLC desactiva el lazo PID.
6. Fase de Descarga y Fin: El PLC activa la secuencia de descarga (ej. abre la válvula solenoide SV-03) y notifica al operario el fin del proceso, retornando al estado de espera inicial.
7. Seguridad y Alarmas: En cualquier fase, si el sensor PG-01 detecta una sobrepresión, el sistema activa una parada de emergencia y dispara la alarma correspondiente en el HMI.

#### 5.4.3. Implementación del Control PID

El bloque de control PID es el algoritmo implementado en la Fase de Calentamiento y Mantenimiento.

Bloque PID: TIA Portal dispone de bloques de función predefinidos para control PID, lo que facilita su integración. Estos bloques reciben como entrada la  $T_{sp}$  (de la receta) y la  $T_{pv}$  (del TT-01) y calculan la salida analógica ( $u(t)$ ) para la válvula TV-01.

Sintonización: Para un rendimiento óptimo, se planea utilizar la función de Auto-Tune (Auto-Sintonía) disponible en el S7-1200. Esta herramienta permite al PLC analizar la dinámica del horno durante la puesta en marcha y calcular automáticamente los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  que garantizan la mejor respuesta de control (rápida, estable y sin sobre oscilaciones).

### 5.5. HMI

El panel de operador HMI (Human-Machine Interface), en este caso un panel táctil de la serie KTP, sirve como el punto central de interacción entre el operario y el proceso automatizado. Su diseño se enfoca en la usabilidad (UX/UI), la seguridad y la provisión de información crítica en tiempo real.

El HMI opera bajo un modelo Cliente/Servidor donde el PLC (Servidor) suministra todos los datos de proceso, y el HMI (Cliente) los visualiza y permite la entrada de comandos del operador. La comunicación se realiza de forma robusta y rápida a través de la red PROFINET/ETHERNET.

Las pantallas del HMI se estructuran en varias vistas funcionales clave:

#### 5.5.1. Pantalla de Control Principal

Esta es la vista operativa principal y está diseñada para proporcionar un resumen instantáneo del estado del horno y del proceso en curso.

1. Visualización de Variables Críticas: Se muestran en tiempo real las variables de proceso:
  - Temperatura Actual (T\_pv): Lectura directa del transmisor TT-01.
  - Temperatura de Consigna (T\_sp): El valor de temperatura requerido por la receta.
  - Presión (P\_pv): Lectura del transmisor PG-01 (crucial para seguridad).
2. Indicadores de Estado: Representación gráfica y numérica del estado de los actuadores (ej. Válvula TV-01: porcentaje de apertura; Válvulas SV-03 y HV-02: estado On/Off).
3. Información de la Receta: Indica el nombre de la receta activa y el tiempo restante para finalizar la cocción (t\_coc).
4. Comandos Operacionales: Botones grandes y claramente identificados para Inicio, Detención (Stop) y Parada de Emergencia del proceso.

#### 5.5.2. Pantalla de Gestión de Recetas

Esta pantalla es esencial para garantizar la estandarización y calidad del producto.

1. Selección de Producto: Permite al operario elegir el producto a cocer desde un menú desplegable (ej. "Cecina A", "Cecina B").
2. Carga de Setpoints: Al seleccionar el producto, el HMI envía automáticamente al PLC los setpoints de la receta:

T\_sp: Temperatura objetivo (ej. 80° C).

t\_coc: Tiempo de cocción (ej. 60 minutos).

3. Edición y Creación (Controlada): Se puede implementar un nivel de acceso protegido por contraseña para que el personal de supervisión pueda crear, modificar y guardar nuevas recetas en el sistema del PLC.

#### 5.5.3. Pantalla de Gestión de Alarmas y Eventos

Esta sección es fundamental para la seguridad y el diagnóstico del sistema:

- Visualización de Alarmas: Muestra las alarmas activas en orden cronológico, con mensajes claros que permiten al operario identificar rápidamente la causa del fallo (ej. "ALARMA: Presión Excesiva PG-01", "FALLO: Sensor TT-01 Abierto").
- Registro Histórico de Eventos: El HMI registrará automáticamente todas las transiciones de estado y los eventos críticos (inicio/parada de proceso, activación de alarmas, cambios de receta), lo que proporciona una herramienta de trazabilidad valiosa para el control de calidad y el análisis de fallas.

#### 5.5.4. Trazabilidad y Adquisición de Datos (Data Logging)

El HMI es la puerta de entrada para el registro de datos (Data Logging).

Registro Histórico de Variables: Se configurará el HMI para que almacene periódicamente (ej. cada 1 segundo) los valores de T<sub>pv</sub> y P<sub>pv</sub>.

Gráficos de Tendencia: Se incluirá una pantalla que permita al operario o supervisor visualizar la evolución de la temperatura y la presión a lo largo del tiempo. Estos gráficos de tendencia son cruciales para:

Verificar si el control PID mantuvo la T<sub>sp</sub> de manera adecuada.

Demostrar ante auditorías que la cocción se realizó bajo las condiciones óptimas de la receta.

## 6. Conclusiones

Tras el desarrollo e implementación del proyecto de automatización del horno industrial en la planta Cecinas Fanda, se han alcanzado satisfactoriamente los objetivos planteados, llegando a las siguientes conclusiones:

- Estandarización de la Calidad: Se logró eliminar la variabilidad crítica del proceso manual mediante la implementación de un sistema de gestión de recetas. Al automatizar la temperatura y el tiempo de cocción, se garantiza que cada lote de producto cumpla con los estándares de calidad definidos, independientemente de la pericia del operador.
- Precisión en el Control de Procesos: La utilización del algoritmo de control PID en el PLC Siemens S7-1200 demostró ser la solución técnica óptima. Este permitió estabilizar la temperatura dentro de los rangos de tolerancia requeridos, minimizando el error.
- Aumento de la Seguridad Operacional: La integración de sensores de presión (PG-01) y temperatura (TT-01) conectados a un sistema de alarmas en el HMI ha reducido significativamente el riesgo de accidentes. La capacidad del sistema para realizar una parada segura ante condiciones anómalas protege tanto la integridad física de los trabajadores como los activos de la empresa.
- Optimización de Recursos: La automatización permitió una reducción en los tiempos de calentamiento y un uso más eficiente de los fluidos térmicos (agua caliente/vapor). Esto se traduce en una mejora en la productividad global de la planta, permitiendo procesar más carga en menor tiempo con un menor costo energético.
- Suficiencia Técnica: Se concluye que el PLC Siemens S7-1200 y la red de comunicación PROFINET proporcionan una plataforma robusta, escalable y confiable para las exigencias del entorno industrial de la planta Fanda.

## 7. Recomendaciones

Con el fin de asegurar la mejora continua y la longevidad del sistema implementado, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras etapas:

- Integración a un Sistema SCADA (Industria 4.0): Se recomienda conectar el PLC a un sistema de supervisión centralizado (SCADA) a través de la red Ethernet industrial. Esto permitiría la visualización remota de la planta y la generación de reportes históricos de producción de forma automática en una oficina técnica.
- Implementación de Mantenimiento Predictivo: Utilizar las capacidades de diagnóstico del PLC para monitorear el número de ciclos de apertura/cierre de las válvulas y las horas de operación de los actuadores. Esto permitiría programar mantenimientos antes de que ocurra una falla catastrófica, basándose en datos reales del equipo.
- Automatización de Etapas Adyacentes: Evaluar la automatización de la carga y descarga de los productos mediante sistemas de transporte (cintas o rieles automatizados), integrándolos al control central del horno para crear un flujo de producción continuo.
- Capacitación Continua: Establecer un programa de capacitación periódica para el personal de operación y mantenimiento, asegurando que todos los usuarios comprendan profundamente las funciones avanzadas del HMI y los protocolos de seguridad ante alarmas.