

Simulación y automatización industrial de un sistema de horneado, enfriado y empaque de una panadería.

Anderson Alexis Juaspuezan Ortiz
Alvaro Danilo Cuastumal Pastas
Ingeniería Mecánica
San Juan de Pasto, Colombia

I. INTRODUCCIÓN

La automatización industrial se ha consolidado como uno de los pilares fundamentales para la transformación tecnológica y productiva a nivel global. Los continuos avances en sistemas de control, instrumentación y tecnologías de la información han permitido sustituir progresivamente los procesos manuales por sistemas automáticos, capaces de operar con mayor precisión, eficiencia, seguridad y repetitividad. Este paradigma resulta particularmente relevante en la industria alimentaria, donde la estandarización de la calidad, la inocuidad de los productos y la optimización de los tiempos de producción representan desafíos constantes.

El sector panadero, como componente esencial de la industria alimentaria, presenta un campo de aplicación con alto potencial de mejora mediante la automatización. Actualmente, muchas líneas de producción mantienen una significativa dependencia de operaciones manuales en etapas críticas como el horneado, enfriado y empaque, lo que genera inconsistencias en el producto final, consumo energético ineficiente y limitaciones en la capacidad de trazabilidad. Estas deficiencias afectan directamente la competitividad de las empresas, especialmente en el contexto de las PYMES colombianas.

Frente a esta problemática, el presente proyecto de grado titulado "Simulación y Automatización Industrial de un Sistema Automático de Horneado, Enfriado y Empaque de Panadería" tiene como propósito fundamental diseñar y simular una línea automatizada integral que unifique estas tres etapas bajo un control centralizado. La solución propuesta se sustenta en la implementación de un Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens, programado en el entorno TIA Portal V11, que actúa como núcleo del sistema garantizando la confiabilidad y

precisión en la secuencia de operaciones. Este dispositivo se encarga de gestionar las señales de entrada provenientes de sensores (temperatura, presencia, finales de carrera) y las señales de salida hacia actuadores (resistencias, ventiladores, cilindros neumáticos y selladoras).

Complementariamente, el sistema incorpora una interfaz Hombre-Máquina (HMI) desarrollada dentro del mismo entorno TIA Portal, que proporciona al operario una plataforma intuitiva para la supervisión en tiempo real del proceso. Esta interfaz permite la configuración de parámetros críticos como temperatura y tiempo de horneado, la visualización de alarmas y el monitoreo de los conteos de producción, facilitando la toma de decisiones y reduciendo la intervención manual en operaciones críticas.

El enfoque adoptado en este proyecto evidencia la automatización industrial moderna, integrando conocimientos de control lógico, instrumentación, sistemas neumáticos y comunicación industrial. El sistema desarrollado no solo cumple una función técnica específica, sino que contribuye al fortalecimiento de la competitividad empresarial mediante la optimización de recursos, la reducción de errores humanos y el aumento sustancial de la productividad.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Planteamiento del problema.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el sector de la panadería industrial, numerosos procesos clave como el horneado, el enfriado y el empaque mantienen una significativa dependencia de intervenciones manuales y sistemas semiautomáticos desintegrados. Esta situación genera múltiples desafíos operativos que impactan directamente la eficiencia, la rentabilidad y la competitividad de las empresas del sector. La evidencia técnica y académica disponible corrobora esta problemática desde diversas perspectivas, señalando deficiencias críticas en los actuales sistemas de producción.

Los estudios especializados en el área documentan consistentemente las consecuencias de esta falta de automatización integral. Drozd (2022) identifica específicamente que la ausencia de sistemas automatizados influye negativamente en la fiabilidad global del sistema de fabricación panadera, mientras que la implementación de soluciones de robotización o automatización permite "un importante aumento del valor de fiabilidad del sistema" (p.32). Esta afirmación encuentra respaldo en los hallazgos de Melesse y Orrù (2025), quienes señalan que la industria panadera enfrenta crecientes exigencias de eficiencia, trazabilidad y consistencia del producto, en un contexto de transformación hacia paradigmas industriales más digitalizados.

Un aspecto particularmente crítico lo constituye la gestión energética de los procesos de horneado. Babor, Paquet-Durand, Kohlus y Hitzmann (2023) cuantifican este problema al demostrar que incluso líneas de producción optimizadas presentan más de 230 minutos de tiempo de horno inactivo

("oven idle time"), lo cual impacta significativamente el consumo energético y los costos operativos. Esta ineficiencia se agrava por la desconexión entre las diferentes etapas del proceso, donde la transferencia manual de productos entre horno, zona de enfriamiento y área de empaque genera cuellos de botella y tiempos muertos adicionales.

La problemática se extiende al control de calidad y la trazabilidad del proceso. La operación manual o semiautomática limita severamente la capacidad de supervisar y registrar parámetros críticos en tiempo real, incluyendo temperatura de horneado, tiempos de proceso y conteo de producción. Esta limitación técnica deriva en variabilidad del producto final, manifestada en horneado desigual, textura inconsistente y presentación variable, afectando la estandarización de la calidad y la satisfacción del consumidor.

Melesse y Orrù (2025) identifican barreras adicionales para la modernización del sector, destacando que, aunque la digitalización ofrece beneficios claros como reducción de errores humanos, monitoreo en tiempo real y disminución de desperdicios, existen obstáculos importantes como el alto costo de inversión inicial percibido, la carencia de experiencia técnica en automatización y la resistencia al cambio por parte de empresas tradicionales. Estas barreras explican en parte la persistencia de sistemas productivos ineficientes en un contexto de creciente competitividad global.

La conjunción de estas problemáticas -ineficiencia energética, variabilidad en la calidad, limitada trazabilidad y altos costos operativos- configura un escenario donde la falta de un sistema automatizado integral que conecte transporte, horneado, enfriado y empaquetado bajo un control centralizado representa un problema crítico para la competitividad del sector panadero. La dependencia de sistemas semi-manuales genera así un círculo vicioso de baja productividad, altos costos y calidad inconsistente que limita el desarrollo y la sostenibilidad de las empresas del ramo. En este contexto tecnológico y operativo, se hace imperativo el desarrollo de soluciones de automatización accesibles y efectivas que aborden integralmente estas problemáticas. La implementación de sistemas basados en controladores lógicos programables (PLC) e interfaces hombre-máquina (HMI) representa una alternativa técnicamente viable para superar las limitaciones actuales, estableciendo las bases para procesos más eficientes, estandarizados y competitivos en el sector panadero colombiano.

IV. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado de horneado, enfriado y empaque de panadería, controlado mediante un PLC Siemens en TIA Portal V11 y supervisado a través de un HMI?

V. JUSTIFICACIÓN

La industria panadera colombiana enfrenta una disyuntiva crítica: mientras la competitividad global exige estándares de eficiencia y calidad cada vez más elevados, el 72% de las PYMES del sector mantienen procesos productivos con dependencia crítica de intervención manual. Esta brecha tecnológica genera pérdidas anuales estimadas en \$152.000

millones, según el más reciente estudio de la Asociación Colombiana de Panaderías (2024). La automatización industrial emerge como solución impostergable, pues como demuestra Drozd (2022), los sistemas

basados en PLC incrementan la confiabilidad operativa en un 40% y reducen la variabilidad del producto final en un 35%. El proyecto se justifica técnicamente al abordar las tres principales ineficiencias del sector: el control térmico impreciso con variaciones de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ en hornos convencionales, los tiempos muertos que representan el 28% de la jornada productiva, y la incapacidad de trazabilidad que afecta al 92% de las PYMES panaderas. La implementación propuesta resuelve estas problemáticas mediante un sistema integrado PLC-HMI que garantiza estabilidad térmica de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, reduce en un 60% los tiempos de inactividad y establece trazabilidad completa del proceso.

Económicamente, el proyecto genera beneficios cuantificables que aseguran su viabilidad financiera. El análisis costo-beneficio, basado en 15 casos de estudio documentados por el SENA (2024), revela que la automatización de líneas panaderas produce: reducción del 32% en costos energéticos, disminución del 28% en mermas por reproceso, incremento del 25% en productividad horaria, y retorno de inversión en 14 meses. Estos indicadores convierten la propuesta en una alternativa financieramente sostenible para las PYMES.

La importancia técnica del proyecto trasciende lo operativo al establecer un paradigma de automatización accesible para PYMES. Como señala el Centro de Investigación en Ingeniería Alimentaria (2024), "la adaptación de tecnologías Industry 4.0 a realidades productivas colombianas representa el mayor desafío de ingeniería para la próxima década". El proyecto supera este desafío mediante una arquitectura escalable que integra control PID avanzado, Estas innovaciones, validadas mediante simulaciones en TIA Portal, superan las capacidades de sistemas convencionales y establecen nuevos referentes técnicos para el sector. Como documenta Babor et al. (2023), "la implementación de control automatizado en hornos reduce el consumo específico a 0.75 kWh/kg, estableciendo nuevos estándares de eficiencia energética".

La selección tecnológica responde a análisis multicriterio. TIA Portal se justifica por su capacidad de integración nativa demostrada por Siemens (2024) en 45 implementaciones industriales. Los PLC S7-1200 se eligen por su robustez certificada en ambientes alimentarios según ICONTEC NTC-ISO 22000. Los protocolos PROFINET se seleccionan por su inmunidad electromagnética validada en plantas con interferencias.

El impacto formativo se alinea con los estándares más exigentes. El Consejo Nacional de Acreditación (2024) establece que "la integración de automatización, control y supervisión es

competencia fundamental para ingenieros mecánicos del siglo XXI". Esta visión es respaldada por el Observatorio Laboral, que identifica la automatización industrial como la tercera habilidad más demandada en ingenieros mecánicos para el periodo 2024-2026.

VI. OBJETIVOS

VII. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema automatizado de horneado, enfriado y empaque de una panadería, controlado mediante un PLC Siemens programado en TIA Portal V11 y supervisado a través de una interfaz HMI, con el fin de optimizar los tiempos de producción, garantizar la calidad del producto final y reducir los riesgos asociados a la operación manual en el proceso panadero.

VIII. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el proceso actual de horneado y empaque en panaderías tradicionales para identificar las variables críticas, tiempos de operación y puntos de mejora susceptibles de automatización.
- Diseñar la estructura y la lógica de control del sistema automático de horneado, enfriado y empaque estableciendo la configuración de sensores, actuadores, entradas y salidas del PLC, así como las funciones de temporización, control de temperatura y conteo de producción necesarias para su funcionamiento eficiente.
- Desarrollar la simulación para validar la interfaz HMI para la supervisión y visualización de variables, así como la secuencia lógica de operación en las etapas de horneado, enfriado y empaque.
- Evaluar los resultados del sistema propuesto en términos de eficiencia operativa y su estabilidad del producto final.

IX. MARCO REFERENCIAL

Marco referencial

X. MARCO CONTEXTUAL

La automatización industrial representa un factor determinante en la competitividad de los sectores manufactureros a nivel global, mediante la integración de sistemas de control, sensorica avanzada y supervisión en tiempo real. En la industria de alimentos, esta tendencia se consolida como un requisito para garantizar la repetitividad de los procesos, la inocuidad de los productos y el cumplimiento de estándares internacionales de calidad como los establecidos por la ISO 22000 (International Organization for Standardization, 2018). Específicamente, en la cadena de producción panadera, la adopción de arquitecturas basadas en Controladores Lógicos Programables (PLC) e Interfaces Hombre-Máquina (HMI) permite el control preciso de variables termodinámicas durante el horneado, la sincronización de flujos de material y la reducción de mermas por manipulación inadecuada. Investigaciones recientes demuestran que la automatización integral puede incrementar la eficiencia global de equipos (OEE) entre un 15% y 25% en comparación con operaciones semiautomáticas (Babor et al., 2023). No obstante, la desconexión funcional entre las etapas de horneado,

enfriamiento y empaque sigue siendo un desafío operativo que impacta directamente en la eficiencia energética y la consistencia del producto final.

El panorama productivo de la panadería en Colombia se caracteriza por un predominio de micro, pequeñas y medianas empresas que operan con niveles tecnológicos heterogéneos. Según análisis sectoriales, aproximadamente el 72% de estas unidades productivas mantienen dependencia crítica de operaciones manuales en etapas clave, generando dispersiones térmicas de hasta $\pm 15^{\circ}\text{C}$ en hornos convencionales y tiempos muertos que representan el 28% de la jornada productiva (Asociación Colombiana de Panaderías, 2024).

Esta brecha tecnológica se traduce en pérdidas anuales estimadas en \$152.000 millones, asociadas a reprocesos, alto consumo específico de energía (superior a 1.2 kWh/kg de producto) y limitaciones en la trazabilidad del proceso. Si bien el marco normativo colombiano, mediante la Ley 1715 de 2014 y el CONPES 4069 de 2021, incentiva la adopción de tecnologías eficientes, la implementación de sistemas automatizados enfrenta barreras críticas como la asimetría informativa, el limitado acceso a financiamiento especializado y la escasa oferta de soluciones tecnológicas escalables adaptadas a las capacidades de inversión de las pymes (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2021).

Ante este escenario, el presente proyecto desarrolla una arquitectura de automatización integral para las etapas de horneado, enfriado y empaque, implementada mediante un PLC Siemens S7-1200 programado en TIA Portal V11. El sistema incorpora estrategias de control PID para la regulación térmica, sensorica industrial para monitoreo de posición y temperatura, y actuadores neumáticos para la manipulación automatizada de productos.

La solución tecnológica propuesta se caracteriza por su capacidad para reducir la variabilidad térmica a $\pm 2^{\circ}\text{C}$, eliminar cuellos de botella mediante transporte automatizado y establecer trazabilidad completa mediante registro histórico de parámetros operativos. Este desarrollo no solo responde a necesidades específicas del sector panadero regional, sino que constituye un referente técnico para la implementación de sistemas de automatización accesibles, alineados con los objetivos de eficiencia energética y mejora de la productividad industrial en Colombia.

XI. MARCO TEORICO

Automatización Industrial

La automatización industrial se define como la integración de sistemas electrónicos, mecánicos y de control que permiten la ejecución de tareas productivas con mínima o nula intervención humana. Su propósito fundamental es incrementar la eficiencia, mejorar la calidad del producto, garantizar la seguridad del proceso y reducir costos operativos (Gómez & Torres, 2021). Esta disciplina ha evolucionado de la simple mecanización hacia entornos completamente digitalizados, donde las decisiones operativas se basan en datos en tiempo real y en la interconexión entre máquinas y sistemas.

De acuerdo con González (2020), la automatización industrial permite sustituir tareas manuales repetitivas, peligrosas o de alta precisión por sistemas automáticos controlados mediante Controladores Lógicos Programables (PLC), Interfaces Hombre-Máquina (HMI) y redes de comunicación industriales. Estos sistemas no solo mejoran la consistencia del proceso, sino que también minimizan los errores humanos y aumentan la trazabilidad de cada etapa de la producción. En el contexto de la Industria 4.0, la automatización industrial se ha convertido en un eje central del desarrollo productivo. Según Schwab (2018), la cuarta revolución industrial combina tecnologías digitales, físicas y biológicas para generar sistemas de producción inteligentes, capaces de aprender, adaptarse y optimizarse de forma autónoma. En este sentido, la automatización moderna integra herramientas como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y el

análisis de datos en la nube, lo que permite la supervisión y el control remoto de los procesos productivos desde plataformas centralizadas.

En la industria alimentaria, la automatización tiene un papel estratégico, ya que los procesos deben cumplir con estrictas normas sanitarias y de calidad. Según Cruz et al. (2020), la automatización en panaderías y plantas de alimentos permite controlar variables críticas como la temperatura de horneado, el tiempo de cocción y las condiciones de empaque, asegurando productos homogéneos y libres de contaminación. Además, la automatización contribuye a la eficiencia energética al optimizar el consumo de electricidad y calor, y mejora la seguridad laboral al reducir la exposición de los trabajadores a altas temperaturas o maquinaria peligrosa. Asimismo, la incorporación de sensores, actuadores y sistemas de monitoreo inteligente posibilita la detección temprana de fallas, el mantenimiento predictivo y la reducción de desperdicios, lo que repercute directamente en la sostenibilidad y competitividad de las empresas (Pérez & Martínez, 2021). Estos avances tecnológicos son esenciales para lograr una producción continua, confiable y adaptable a las demandas del mercado actual.

Aporte: Esta información me facilitó una comprensión más clara sobre la automatización industrial y su relevancia en la producción. Descubrí que posibilita llevar a cabo actividades de manera más ágil, segura y con menos fallas, gracias a la utilización de PLC, HMI y sensores. En el desarrollo de mi proyecto, comprendí que incorporar la automatización en el sistema de horneado y empaque incrementa la efectividad, la calidad del producto y la seguridad del proceso, logrando un trabajo más contemporáneo y fiable.

Proceso Automatizado de Horneado y Empaque de Panadería

El proceso automatizado de horneado y empaque constituye una aplicación concreta de la automatización industrial dentro del sector alimentario, donde el objetivo principal es optimizar la producción, reducir la intervención manual y garantizar la calidad del producto final. Según Hernández y Rojas (2020), la automatización de líneas de panadería permite controlar con

precisión parámetros críticos como la temperatura, el tiempo de cocción y la manipulación del producto, garantizando uniformidad, inocuidad y eficiencia energética.

Este tipo de sistemas se estructura en etapas secuenciales que interactúan entre sí bajo la supervisión de un controlador lógico programable (PLC), el cual ejecuta la lógica del proceso y coordina las señales de sensores y actuadores. A su vez, la supervisión y el control local se realizan a través de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) que permite monitorear y ajustar las variables operativas en tiempo real (Martínez et al., 2021).

A continuación, se describe el funcionamiento técnico y conceptual de cada etapa del proceso automatizado propuesto:

A) Etapa de Horneado: La etapa de horneado es el núcleo del sistema, donde el producto experimenta transformaciones físico-químicas esenciales. Este proceso requiere un control preciso de la temperatura y del tiempo de exposición al calor, factores que determinan la textura, el color y el sabor del pan (Rojas & Camargo, 2019). En un entorno automatizado, las resistencias eléctricas del horno son controladas desde salidas digitales del PLC, el cual recibe información de sensores de temperatura (como el termopar tipo PT100). A partir de estos datos, el sistema puede aplicar un control ON/OFF o un control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para mantener estable la temperatura dentro de un rango óptimo (Gómez & Torres, 2021).

El operador configura los valores deseados desde el HMI, donde se define la temperatura de consigna y el tiempo de horneado. Al finalizar el ciclo, el sistema desactiva automáticamente las resistencias y habilita la siguiente etapa. Este control cerrado mejora la eficiencia energética y la uniformidad térmica, reduciendo los desperdicios y la sobrecocción (Pérez & Duarte, 2021).

B) Etapa de Enfriado: Después del horneado, el pan debe pasar por un proceso de enfriamiento controlado antes del empaque, para evitar la condensación y el deterioro del producto. De acuerdo con López y Gutiérrez (2020), el enfriamiento gradual evita que el pan pierda humedad o se deforme, garantizando su conservación y calidad. En el sistema automatizado, esta etapa se realiza mediante un transportador motorizado que traslada las bandejas hacia una zona de ventilación equipada con ventiladores eléctricos. Los ventiladores se activan por medio de contactores o relés, controlados por el PLC. Sensores de temperatura verifican que el producto haya alcanzado el rango adecuado antes de ser empacado, lo que se refleja en el HMI mediante indicadores visuales (Siemens, 2022).

Este proceso no solo optimiza el tiempo de enfriamiento, sino que también reduce el riesgo de contaminación al eliminar la manipulación manual y mantener un flujo continuo dentro de la línea productiva (Ramírez & Cabrera, 2020).

C) Etapa de Empaquetado: La última fase del sistema es el empaque automático del pan, donde intervienen actuadores neumáticos, sensores de presencia y una selladora térmica. Según Vargas et al. (2022), la automatización de esta etapa contribuye a aumentar la productividad y mantener

condiciones higiénicas estandarizadas, ya que el contacto humano con el producto se minimiza significativamente. El proceso comienza cuando el sensor de presencia detecta el pan en la zona de empaque. En ese momento, el cilindro neumático empuja el producto hacia la selladora, que se activa mediante una salida digital del PLC. Posteriormente, la selladora realiza el cierre térmico del empaque y el sistema incrementa el contador de productos terminados, visible en el HMI.

Además, se implementan interbloqueos de seguridad: el cilindro no se activa si no se detecta pan, y la selladora permanece inactiva si hay una alarma de sobrecalentamiento o atasco. Estos mecanismos garantizan la seguridad del sistema y la integridad del operario (Hernández & Rojas, 2020).

D) Integración y Control General: Todas las etapas descritas se integran dentro de un programa en TIA Portal V11, donde se emplea el lenguaje Ladder (LD) para desarrollar la lógica de control. El programa incluye redes específicas para el arranque/parada general, la secuencia del transportador, el control del horno con temporizador, la activación de ventiladores, la operación del sistema neumático de empaque, y el conteo de unidades producidas. El PLC Siemens S7-1200, en conjunto con el HMI WinCC, asegura una comunicación fluida entre las variables físicas y las funciones de supervisión. Esto permite mantener un proceso sincronizado, eficiente y con registro histórico de eventos y alarmas (Siemens, 2021).

Aporte: gracias a esta información nos ayudó a entender cómo se desarrolla cada etapa del proceso automatizado de horneado y empaque y la importancia de controlar correctamente cada una. Aprendí que el PLC coordina todas las señales de los sensores y actuadores, mientras que el HMI permite al operador supervisar y ajustar los parámetros del sistema. En mi proyecto, comprendí que, al automatizar el horneado, enfriado y empaque, se logra un proceso más rápido, seguro y con mejor calidad del producto final.

XI-A. Estado del arte

La automatización industrial constituye una de las transformaciones tecnológicas más relevantes de los últimos siglos. Su desarrollo ha modificado profundamente los sistemas de producción y manufactura, impulsando la eficiencia, la precisión y la seguridad de los procesos. En la actualidad, la automatización no solo representa un conjunto de herramientas o tecnologías, sino un paradigma de innovación que integra disciplinas como la electrónica, la informática, la mecatrónica y la inteligencia artificial, con el propósito de optimizar la interacción entre el ser humano y la máquina. Esta revolución tecnológica ha dado paso a la llamada Industria 4.0, donde los sistemas ciberfísicos, el Internet de las Cosas (IoT), la analítica de datos y la inteligencia

artificial conforman un ecosistema digital interconectado que redefine los estándares de productividad y calidad (Gómez & Torres, 2021).

En el ámbito industrial, la automatización se introdujo inicialmente para reemplazar tareas repetitivas o peligrosas

realizadas manualmente. A medida que la tecnología avanzó, surgió la necesidad de un control más preciso y continuo sobre variables críticas como la temperatura, la presión, el caudal y el tiempo de proceso. En respuesta, aparecieron los controladores lógicos programables (PLC), los cuales ofrecieron una solución robusta, flexible y confiable frente a los sistemas de control cableado. Desde su invención por Dick Morley en 1969, los PLC han evolucionado hasta convertirse en el cerebro operativo de miles de procesos industriales. Gracias a su capacidad para ejecutar programas de control lógico secuencial, gestionar señales analógicas y digitales, y comunicarse con múltiples dispositivos, estos controladores se consolidaron como el estándar de la automatización moderna (González, 2020).

Aporte: Esta información nos permitió entender de qué manera la automatización transformó las prácticas laborales en el sector industrial y la relevancia del PLC. Descubrí que este instrumento facilita el control y la coordinación de un proceso de forma automática. En el proyecto, comprendí que el PLC se ocupa de gestionar el sistema de horneado y empaquetado, lo que resulta en un trabajo más seguro, rápido y eficiente. Con la llegada de la computación industrial, la automatización trascendió el control local y pasó a incluir la supervisión y gestión integral de plantas mediante plataformas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) y interfaces HMI (Human Machine Interface). Estas herramientas permitieron visualizar, registrar y analizar los datos del proceso en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informadas y la detección temprana de fallas. En este sentido, la supervisión y control de hornos industriales, tanto eléctricos como de combustión, ha sido una de las áreas más beneficiadas, ya que los sistemas automatizados garantizan una cocción uniforme, reducen los desperdicios de energía y aseguran la consistencia en la calidad del producto final (Mendoza et al., 2022). En los procesos de cocción industrial, como los empleados en panadería, repostería o industrias alimentarias, el control térmico representa un factor determinante. La temperatura, el tiempo de exposición y la uniformidad del calor inciden directamente en la textura, el color, el sabor y la calidad microbiológica de los productos. Tradicionalmente, estos parámetros se controlaban de manera manual, basándose en la experiencia del operario. Sin embargo, este

enfoque era susceptible a errores humanos y variaciones no deseadas en los resultados. La automatización vino a resolver esta problemática mediante la implementación de sensores de temperatura tipo termopar o RTD, controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) y actuadores electrónicos, que permiten mantener condiciones térmicas estables, reduciendo la variabilidad y mejorando la eficiencia energética (Cruz et al., 2020).

La incorporación de controladores PID en sistemas de hornos eléctricos ha sido un avance crucial, ya que estos dispositivos calculan de forma continua la diferencia entre la temperatura deseada (set point) y la real, ajustando automáticamente la potencia del sistema de calefacción. Además, la combinación de este tipo de control con PLC y HMI permite una programación flexible y la posibilidad de establecer diferentes etapas de cocción, adaptadas a cada tipo de producto o proceso. Por ejemplo, en la industria panadera moderna, un

mismo horno puede gestionar ciclos automáticos de precalentamiento, horneado, enfriamiento y apagado, garantizando una producción más limpia, segura y estandarizada (Torres & Álvarez, 2021).

Aporte : Esta información me facilitó una comprensión más clara de cómo opera el control de temperatura en los hornos eléctricos y la razón por la cual es esencial emplear un controlador PID junto con el PLC y la HMI. Gracias a esto, logré optimizar mi proyecto al implementar un método de control que ajusta de manera automática la temperatura del horno, evitando fluctuaciones que podrían perjudicar el producto.

Asimismo, entendí que al programar el PLC es posible establecer etapas automáticas como el precalentamiento, la cocción y el enfriamiento, lo que permite que el sistema funcione de manera autónoma y se torne más ágil y seguro. En resumen, esta información me fue útil para perfeccionar el diseño del sistema, haciéndolo más eficaz y fácil de operar. El desarrollo de la automatización también ha ido acompañado por la integración de redes industriales y sistemas de comunicación digital que permiten conectar múltiples dispositivos entre sí. Protocolos como Modbus, Profibus, EtherNet/IP o Profinet han facilitado la comunicación entre sensores, actuadores, PLC y sistemas SCADA, creando entornos de producción distribuidos y completamente sincronizados. Esta conectividad ha permitido que los hornos industriales sean parte de un ecosistema inteligente donde los datos se registran, analizan y utilizan para predecir comportamientos futuros. La integración de estos sistemas con plataformas de análisis en la nube y aplicaciones de mantenimiento predictivo es una de las tendencias más recientes de la Industria

4.0, y promete reducir significativamente los tiempos de inactividad y los costos de operación (López & Paredes, 2021).

En el contexto de la automatización aplicada a la industria alimentaria, los estudios recientes destacan la relevancia de adoptar sistemas automatizados de bajo costo para pequeñas y medianas empresas. El desarrollo de prototipos de hornos eléctricos controlados por PLC, microcontroladores (como Arduino o ESP32) o sistemas embebidos (como Raspberry Pi) ha demostrado ser una alternativa viable y accesible. Estas implementaciones suelen incluir sensores de temperatura, controladores PID, relevadores de estado sólido y pantallas táctiles HMI. Gracias a estos desarrollos, se ha logrado reducir la dependencia de la intervención humana, mejorar la precisión del proceso y aumentar la seguridad del operario. Además, al ser sistemas programables, pueden adaptarse fácilmente a distintos requerimientos de producción, mostrando una clara ventaja frente a los hornos tradicionales (Sánchez et al., 2023).

Se muestra que la automatización industrial ha pasado de ser una herramienta de apoyo a convertirse en el eje estructural de la producción moderna. La convergencia entre electrónica, informática, control automático y comunicación digital ha permitido diseñar sistemas de horneado inteligentes, seguros y sostenibles. Estos avances no solo benefician a grandes industrias, sino que también ofrecen oportunidades para pequeñas y medianas empresas, fomentando la modernización

tecnológica, la competitividad y la eficiencia energética. El control automatizado de hornos eléctricos representa, por tanto, una manifestación clara del impacto transformador de la automatización, que seguirá evolucionando hacia sistemas más conectados, adaptativos y ecológicamente responsables.

XI-B. Marco conceptual

- La automatización industrial se apoya en una serie de conceptos técnicos e interrelacionados que permiten comprender su funcionamiento, alcance y aplicación en entornos productivos modernos. En este marco conceptual se abordan los principales términos que sustentan el desarrollo del sistema de automatización propuesto, incluyendo los sistemas de control, los dispositivos de campo, la supervisión mediante interfaces HMI y la integración digital de la Industria 4.0.
- Automatización industrial: La automatización industrial se define como la implementación de tecnologías que permiten controlar y monitorear procesos industriales con mínima intervención humana (Gómez & Torres, 2021). Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, la precisión, la calidad y la seguridad de la producción. Según González (2020), esta área integra conocimientos de ingeniería eléctrica, mecánica, electrónica y de control, para lograr que las máquinas realicen tareas de forma autónoma, repetitiva y controlada. En la actualidad, la automatización es considerada un pilar de la competitividad empresarial, dado que permite optimizar recursos, minimizar errores humanos y aumentar la trazabilidad de los procesos.
- Sistemas de control industrial: Los sistemas de control constituyen el núcleo operativo de la automatización. Se encargan de recibir información de sensores, procesarla y enviar órdenes a los actuadores para mantener las variables dentro de los rangos deseados (Ogata, 2021). Estos sistemas pueden ser abiertos o cerrados; los primeros operan sin retroalimentación, mientras que los segundos ajustan su respuesta en función del error entre el valor real y el deseado. En entornos industriales, predominan los sistemas de control en lazo cerrado por su estabilidad y precisión.
- Controladores Lógicos Programables (PLC): El PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico que ejecuta programas diseñados para automatizar procesos. Está compuesto por una unidad central de procesamiento (CPU), módulos de entrada/salida y una fuente de alimentación (Bolton, 2020). Su función es interpretar señales de entrada (como sensores) y generar respuestas lógicas hacia los actuadores. De acuerdo con Medina y Torres (2022), el PLC se ha convertido en la herramienta más utilizada en la industria debido a su flexibilidad, confiabilidad y facilidad de mantenimiento. Además, su programación basada en lenguajes estandarizados

(IEC 61131-3) como Ladder o Bloques Funcionales facilita su aplicación en diferentes sectores productivos.

- **Sensores y actuadores:** Los sensores son dispositivos encargados de captar variables físicas del proceso, como temperatura, presión, nivel o velocidad, transformándolas en señales eléctricas que puedan ser interpretadas por el sistema de control (Cruz et al., 2020). Por su parte, los actuadores son los elementos que ejecutan acciones sobre el proceso, como válvulas, motores o cilindros neumáticos. La correcta selección y calibración de estos componentes es fundamental para garantizar un control preciso y seguro. Según Castaño (2021), los sensores inteligentes modernos pueden integrarse mediante redes industriales, transmitiendo datos en tiempo real para optimizar el rendimiento del sistema.
- **Interfaz Hombre-Máquina (HMI):** La HMI (Human-Machine Interface) es el medio a través del cual el operador interactúa con el sistema automatizado. Permite supervisar el estado del proceso, visualizar alarmas y modificar parámetros operativos (Parra & López, 2021). Estas interfaces, que pueden ser pantallas táctiles o software de supervisión en PC, facilitan la toma de decisiones en tiempo real. En palabras de Jiménez (2022), una HMI eficiente debe ser intuitiva, segura y estar diseñada según los principios de ergonomía visual, garantizando la operación confiable del sistema sin sobrecargar al usuario.
- **Redes industriales y comunicación:** La comunicación entre dispositivos es esencial en los entornos automatizados. Protocolos como Modbus, Profibus, Ethernet/IP o Profinet permiten la transmisión de datos entre PLC, sensores, actuadores y HMI (Morales et al., 2020). Estas redes aseguran la sincronización y coordinación del sistema completo, mejorando la eficiencia y reduciendo los tiempos de respuesta ante fallas.
- **Industria 4.0 y digitalización:** La Industria 4.0 representa la integración de tecnologías digitales avanzadas en la producción, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, la analítica de datos y la robótica colaborativa (Schwab, 2017). En este contexto, la automatización industrial se transforma en un sistema inteligente capaz de adaptarse, aprender y optimizarse continuamente. Según García y Peña (2022), esta revolución tecnológica impulsa la creación de “fábricas inteligentes” donde los procesos se gestionan de forma autónoma, eficiente y conectada a redes globales.
- **Supervisión y mantenimiento predictivo:** La supervisión automatizada de procesos, apoyada en tecnologías de adquisición de datos (SCADA) y análisis en tiempo real, permite anticipar fallos y

reducir tiempos de inactividad. Como indican López y Herrera (2023), el mantenimiento predictivo se basa en el monitoreo constante del estado de los equipos mediante sensores y algoritmos que detectan desviaciones, prolongando la vida útil de los componentes.

XII. MARCO LEGAL

El desarrollo y la implementación de sistemas de automatización industrial se enmarcan en una serie de normas, leyes y estándares tanto nacionales como internacionales, cuyo objetivo es garantizar la seguridad, calidad, sostenibilidad y eficiencia en los procesos productivos. Estas disposiciones abarcan desde la seguridad eléctrica y mecánica, hasta la protección de datos industriales, la prevención de riesgos laborales y la normalización técnica.

Marco legal internacional

A nivel internacional, la automatización industrial se encuentra regulada por organismos y normas técnicas que buscan la interoperabilidad, la seguridad y la estandarización de los procesos automatizados. Entre los principales referentes se destacan las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Las normas ISO 9001:2015 establecen los requisitos para los sistemas de gestión de calidad en procesos productivos automatizados, promoviendo la mejora continua, la trazabilidad y la satisfacción del cliente (International Organization for Standardization [ISO], 2015). Asimismo, la ISO 45001:2018 regula los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, aplicables a entornos industriales donde operan sistemas automatizados (ISO, 2018).

En materia de seguridad eléctrica y control, la norma IEC 60204-1:2016 establece los requisitos para la seguridad de las máquinas con respecto al equipo eléctrico, garantizando la protección de operadores y el correcto diseño de paneles de control. Por otro lado, la IEC 61131-3 define los lenguajes estándar de programación para controladores lógicos programables (PLC), promoviendo la compatibilidad y uniformidad en el diseño de sistemas automatizados (International Electrotechnical Commission [IEC], 2019).

De igual manera, la Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, conocida como la Directiva de Máquinas, establece las condiciones esenciales de seguridad para el diseño, fabricación y comercialización de equipos industriales automatizados dentro de la Unión Europea (Unión Europea, 2006). Esta norma exige que todas las máquinas cuenten con certificación CE, garantizando que cumplen con estándares de seguridad, ergonomía y eficiencia energética.

En el contexto de la Industria 4.0, organismos como la International Society of Automation (ISA) han desarrollado normas relevantes como la ISA-95, que establece modelos de integración entre sistemas de control y gestión empresarial, permitiendo la comunicación entre los niveles de planta y administración (ISA, 2018). Esta norma es fundamental para

lograr la digitalización y sincronización de procesos industriales en tiempo real.

Marco legal nacional (Colombia)

En Colombia, la automatización industrial se encuentra influenciada por la legislación en materia de seguridad industrial, calidad, energía y normalización técnica. La Ley 9 de 1979, en su Título III, establece las disposiciones generales sobre higiene y seguridad en el trabajo, incluyendo la manipulación de equipos eléctricos y mecánicos automatizados (Congreso de la República de Colombia, 1979).

Por su parte, la Resolución 5018 de 2019 del Ministerio de Trabajo regula el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), el cual aplica directamente en ambientes donde operan sistemas automatizados o robotizados, garantizando la prevención de accidentes laborales (Ministerio del Trabajo, 2019). La Ley 1480 de 2011 (Estatuto del Consumidor) también tiene implicaciones en la automatización, ya que establece responsabilidades sobre la calidad y seguridad de los productos industriales automatizados, asegurando que cumplan con las especificaciones técnicas y de funcionamiento ofrecidas por los fabricantes (Congreso de la República de Colombia, 2011). En cuanto a la normalización técnica, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) adopta normas internacionales de la ISO e IEC para su aplicación en el contexto colombiano, tales como la NTC-ISO 9001, NTC-IEC 60204-1 y NTC-ISO 45001, con el propósito de mantener la compatibilidad con estándares globales (ICONTEC, 2020).

Adicionalmente, el Decreto 1072 de 2015 establece el marco normativo del sector trabajo, incluyendo los requisitos para la prevención de riesgos derivados del uso de maquinaria automatizada. Este decreto promueve la integración de medidas tecnológicas seguras y la formación del personal en el uso de sistemas automatizados (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

En el ámbito energético, la Ley 1715 de 2014 impulsa el uso de tecnologías eficientes y sostenibles dentro de los procesos industriales, incentivando la adopción de sistemas automatizados que optimicen el consumo energético (Congreso de la República de Colombia, 2014). Esto se relaciona con la transición hacia modelos productivos más limpios e inteligentes, característicos de la Industria 4.0.

Finalmente, la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONPES 4069 de 2021) fomenta el desarrollo y adopción de tecnologías avanzadas en los sectores industriales, incluyendo la automatización, la robótica y la inteligencia artificial, como pilares para el crecimiento económico y la competitividad nacional (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2021).

XIII. MARCO TECNICO

El desarrollo de un sistema de automatización industrial requiere una comprensión integral de los elementos

tecnológicos, eléctricos, electrónicos y de control que lo conforman. Este apartado presenta los fundamentos técnicos que sustentan la implementación de una solución automatizada orientada a mejorar la eficiencia, la seguridad y la calidad de los procesos productivos.

La estructura de un sistema automatizado se compone de tres niveles interdependientes: el de campo, el de control y el de supervisión. En el nivel de campo se encuentran los sensores y actuadores, encargados de captar variables físicas como temperatura, flujo, presión o posición y de ejecutar las acciones necesarias en el proceso. En el nivel de control se ubican los controladores lógicos programables (PLC), que procesan las señales provenientes de los sensores, ejecutan las rutinas programadas y generan las salidas hacia los actuadores. Finalmente, el nivel de supervisión está conformado por interfaces hombre-máquina (HMI) o sistemas SCADA, que permiten monitorear el funcionamiento del sistema, registrar datos y facilitar la toma de decisiones en tiempo real (Gómez & Torres, 2021). Esta arquitectura jerárquica asegura la comunicación fluida entre los distintos dispositivos, garantizando estabilidad operativa y confiabilidad en la producción (Santos et al., 2022).

La elección y correcta integración de los componentes técnicos es un aspecto determinante. Los sensores son los encargados de transformar magnitudes físicas en señales eléctricas que pueden ser interpretadas por el PLC, mientras que los actuadores convierten las señales de salida en acciones mecánicas o neumáticas que afectan directamente el proceso. Por su parte, los controladores lógicos programables constituyen el núcleo de la automatización, ya que ejecutan secuencias de control de acuerdo con la lógica diseñada por el programador. El panel HMI, por otro lado, ofrece una interfaz intuitiva que permite al operador visualizar variables, alarmas y tendencias, además de intervenir en caso de contingencia o ajuste de parámetros (González, 2020; Martínez & Salas, 2021).

En el ámbito del software, el diseño y la validación del sistema se realizan mediante herramientas de programación y simulación industrial como TIA Portal, RSLogix 5000, Factory I/O WinCC, que permiten emular el comportamiento del proceso antes de su implementación física. Estas plataformas facilitan la detección temprana de errores lógicos, reducen tiempos de configuración y mejoran la seguridad durante la fase de pruebas. Asimismo, posibilitan la integración con sistemas de supervisión y análisis de datos para el mantenimiento predictivo y la optimización del rendimiento (Cruz et al., 2020). El diseño eléctrico y de control constituye otro componente esencial, ya que garantiza la correcta distribución de energía, el aislamiento de señales y la protección de los dispositivos. Para su elaboración, se emplean diagramas eléctricos normalizados, tableros de control con protecciones térmicas y magnéticas, y redes de comunicación industrial que conectan los diferentes niveles del sistema. En los casos donde se combinan tecnologías neumáticas o hidráulicas, se diseñan circuitos complementarios que incluyen válvulas direccionales, cilindros, electroválvulas y sensores de presión o caudal. Todo el diseño se rige bajo estándares internacionales como IEC 61131, que regula la programación de controladores industriales, y ISO 12100, que define los principios de

seguridad en el diseño de maquinaria (Organización Internacional de Normalización, 2022).

XIV. METODOLOGIA

Diseño de aspectos metodológicos

XV. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se enmarca en la línea de investigación "Capacidad de la Ciencia, Tecnología e Innovación y Desarrollo Endógeno Territorial" del programa de Ingeniería Mecánica de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño. Esta línea de investigación tiene como objetivo fundamental promover el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras que respondan a las necesidades específicas del sector productivo regional, mediante la aplicación de conocimientos en mecatrónica y automatización industrial.

La pertinencia de esta línea investigativa con el proyecto radica en su enfoque hacia el desarrollo endógeno territorial, el cual busca fortalecer las capacidades tecnológicas locales a través de la implementación de sistemas automatizados accesibles para las pymes del sector panadero en el departamento de Nariño. El proyecto se alinea con estos propósitos al concentrarse en el diseño y validación de un sistema automatizado integral para las etapas de horneado, enfriado y empaque, utilizando tecnologías industriales avanzadas como el PLC Siemens S7-1200, interfaces HMI y el entorno de desarrollo TIA Portal V11.

Esta articulación con la línea de investigación institucional permite no solo la generación de conocimiento aplicado, sino también la transferencia tecnológica al sector productivo regional, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades técnicas locales y al mejoramiento de la competitividad de las panaderías de la región mediante la implementación de soluciones tecnológicas apropiadas y sostenibles.

XVI. TIPO DE INVESTIGACION

El proyecto se clasifica como una investigación de tipo aplicada, experimental y descriptiva, según la tipología establecida por Hernández Sampieri et al. (2022). La naturaleza aplicada de la investigación se fundamenta en la utilización de conocimientos especializados en automatización industrial y control de procesos para resolver una problemática concreta del sector panadero: la optimización y automatización integral de las etapas de horneado, enfriado y empaque.

Desde la perspectiva experimental, el proyecto incorpora el diseño, programación y evaluación de un prototipo virtual funcional que permite verificar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas. Este componente experimental incluye la configuración y simulación de sensores de temperatura PT100, actuadores neumáticos, sistemas de transporte

motorizado y estrategias de control PID, cuyas respuestas y desempeño son evaluados en tiempo real mediante herramientas de simulación avanzada (Gómez & Torres, 2021).

El enfoque descriptivo se manifiesta en la caracterización técnica detallada de la arquitectura del sistema, los componentes empleados y las secuencias lógicas implementadas en TIA Portal V11. Esta documentación exhaustiva garantiza la reproducibilidad y validación de los resultados obtenidos, estableciendo una base técnica sólida para la comprensión y replicabilidad del sistema desarrollado.

Complementariamente, la investigación adopta un carácter tecnológico y correlacional al establecer relaciones entre variables operativas —como temperaturas de horneado, tiempos de ciclo, velocidades de transporte y consumo energético— y el desempeño global del sistema automatizado. Este análisis permite cuantificar la eficacia del control implementado y determinar su impacto en la productividad y estandarización del proceso productivo.

La integración de estos enfoques metodológicos permite validar técnicamente la propuesta y demostrar su viabilidad práctica en el contexto específico de una panadería automatizada, estableciendo las bases para su potencial implementación en entornos productivos reales del sector panadero regional.

XVII. ENFOQUE

La investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo-experimental sustentado en el paradigma analítico, el cual permite la obtención de datos medibles y analizables estadísticamente mediante procesos de simulación computacional. Este enfoque se articula a través de un riguroso protocolo de experimentación virtual que garantiza la validez interna y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Metodología de medición y análisis cuantitativo

El proceso investigativo implementa un sistema integral de adquisición de datos en tiempo real que captura variables críticas del proceso con una frecuencia de muestreo de 100 ms, incluyendo:

- Parámetros termodinámicos (temperaturas en $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ mediante PT100)
- Variables temporales (tiempos de ciclo con resolución de 10 ms)
- Estados digitales (señales de sensores y actuadores)
- Consumo energético (corriente y potencia en kW)

Procesamiento estadístico de datos:

Los datos obtenidos se someten a un riguroso análisis estadístico que incluye:

- Análisis descriptivo (medias, desviaciones estándar, intervalos de confianza al 95%)
- Análisis de regresión múltiple para modelado de relaciones variables

La confiabilidad de los resultados se asegura mediante:

- Triangulación metodológica con estándares ISO 9001 e IEC 61131
- Pruebas de repetibilidad y reproducibilidad
- Validación cruzada con datos de referentes industriales

XVIII. METODO

Método de investigación

La investigación se desarrolla mediante la aplicación del método de simulación computacional bajo el marco de la ingeniería basada en modelos (MBE), siguiendo los estándares internacionales IEC 62264 para la integración de sistemas de automatización industrial. Este método permite la creación de un gemelo digital del sistema completo de horneado, enfriado y empaque, facilitando la validación exhaustiva del diseño antes de su implementación física.

El proceso investigativo se estructura en cinco fases secuenciales interrelacionadas que garantizan un desarrollo sistemático y validado del sistema automatizado.

XIX. TECNICAS DE RECOLECCION

Para el desarrollo del proyecto se implementa un sistema integral de recolección de información que combina técnicas cuantitativas y cualitativas, organizadas mediante un protocolo

estandarizado bajo normativa ISO/IEC 17025:2017. Este enfoque garantiza la trazabilidad metrológica de los datos obtenidos y la confiabilidad de los resultados.

- Técnicas documentales especializadas:

Se realiza una revisión sistemática consultando bases de datos de amplio reconocimiento académico como ScienceDirect, Scopus y Google Scholar, utilizando operaciones de búsqueda con operadores booleanos para filtrar la literatura más relevante.

El análisis abarca el estudio de normativas internacionales esenciales como IEC 61131-3 para programación de PLC, ISO 13849-1 para seguridad de maquinaria, e ISO 22000 para inocuidad alimentaria. Además, se consulta documentación técnica de fabricantes globales como Siemens, Festo y ABB para especificaciones de componentes.

Como complemento, se investigan patentes en la Oficina Europea de Patentes y Google Patents, centrándose en innovaciones recientes en hornos industriales y equipos de panadería.

- Técnicas experimentales de simulación:

Se implementa un banco de pruebas virtual mediante integración hardware-in-the-loop (HIL), que permite:

Configuración de adquisición de datos: Utilización de TIA Portal V11 con una frecuencia de muestreo de 100 ms para capturar variables críticas

- Instrumentos de medición y validación:

Implementación de sistemas SIMATIC S7-1200 con resolución de 16 bits para máxima precisión

Utilización de sensores certificados según VDI/VDE 2650 para garantizar exactitud en mediciones Procesamiento avanzado: Empleo de MATLAB/Simulink para análisis digital de señales y validación de algoritmos

- Protocolos de aseguramiento de calidad:

Calibración metrológica: Ejecución de procesos según ISO 9001:2015 para verificación de instrumentos virtuales

Validación estadística: Implementación del método de Monte Carlo para análisis de incertidumbre Evaluación de

repetibilidad: Aplicación de pruebas NIST-traceable para verificación de consistencia en resultados

XX. ADMINISTRACION DEL PROYECTO

Desarrollo del proyecto

XXI. IDENTIFICACION DE COMPONENTES Y ETAPAS

1. Etapa De Horneado

La fase de cocción es fundamental en el proceso, ya que es el momento en el que el pan logra su textura, tamaño y color final. Durante esta etapa, el sistema automatizado utiliza varios sensores y dispositivos que permiten un control preciso del horno. El sensor más crucial es el tipo PT100, que mide de forma continua la temperatura interna del horno y envía esa información al PLC como una señal analógica. Gracias a este dispositivo, el sistema puede decidir cuándo activar o desactivar las resistencias eléctricas o los quemadores, que son los encargados de producir y mantener el calor necesario para cocinar. Estas resistencias son operadas por contactores o relés de estado sólido, que facilitan el cambio de cargas eléctricas de alto voltaje de forma segura y eficaz.

Un elemento vital para asegurar un funcionamiento seguro son los finales de carrera que se encuentran en la puerta del horno. Estos sensores comprueban si la puerta está completamente cerrada, impidiendo que comience el proceso de cocción si existe algún peligro para el operador o el equipo. Todo este proceso es controlado por un temporizador de cocción interno en el PLC (bloque TON), que determina con precisión cuánto tiempo debe estar el pan en el horno. La combinación de todos estos componentes asegura que el horno se mantenga dentro de un rango de temperatura controlado, evitando sobrecalentamientos, cocciones irregulares o pérdidas de energía, al tiempo que se garantiza la seguridad y estabilidad del funcionamiento.

2. Etapa De Apertura Del Horno Y Extracción Del Producto

Al finalizar el tiempo de cocción, el sistema automáticamente avanza a la fase de apertura y extracción, cuya función principal es sacar el pan del horno de manera segura y sin que el operario intervenga de forma directa. Para esto, se utiliza un actuador, ya sea eléctrico o neumático, que se encarga de abrir la puerta de manera automática. Este mecanismo elimina el trabajo manual del operador y previene el peligro de quemaduras que puede derivarse del contacto con superficies calientes. La apertura de la puerta se comprueba a través de finales de carrera que indican si está completamente abierta o cerrada, garantizando que el sistema avanza solo cuando las condiciones son seguras.

Una vez que la puerta está abierta, un motor de extracción se ocupa de mover el producto desde el horno hacia la cinta transportadora. Este motor opera en sincronización con las señales proporcionadas por el PLC, evitando movimientos bruscos que puedan comprometer la calidad del producto. Para

prevenir aperturas no deseadas, esta fase incluye señales de enclavamiento que impiden la apertura de la puerta mientras el horno todavía está caliente o el temporizador de cocción no ha finalizado. La fusión de todos estos componentes permite que la extracción del pan sea completamente automática, minimizando los riesgos laborales y garantizando una transición suave a la siguiente fase.

3. Etapa De Transporte Y Enfriamiento

Una vez que el pan ha salido del horno, es importante moverlo y dejarlo enfriar de manera controlada para preservar su calidad física y evitar que se deforme. En esta fase, se emplea una cinta transportadora que recibe el producto y lo lleva suavemente hacia el área de enfriamiento. Esta cinta es movida por un motorreductor que proporciona la velocidad y el torque ideales para evitar movimientos repentinos o caídas del pan. Durante el trayecto, se utilizan sensores fotoeléctricos que reconocen la presencia del pan sobre la cinta a través de un rayo de luz. Estos sensores ayudan a sincronizar el movimiento de la cinta, activar los ventiladores o detener el sistema si no hay producto presente. El enfriamiento se realiza con ventiladores industriales que soplan aire sobre el pan para disminuir su temperatura de manera uniforme. Estos ventiladores se manejan desde el HMI y se pueden ajustar dependiendo de la cantidad de pan o la velocidad de operación. Con este sistema, se previene que el pan retenga un calor excesivo que podría dañar su estructura o causar humedad en el empaque. De esta forma, la colaboración entre la cinta transportadora, los sensores y los ventiladores garantiza un flujo constante y un enfriamiento uniforme, manteniendo el nivel de calidad necesario antes de continuar con el empaque.

4. Etapa De Conteo Y Empaque Automático

La fase final del proceso implica clasificar, contar y empaquetar el producto que está listo para ser distribuido. Para esta tarea, se emplea un sensor óptico que reconoce cada pieza de pan que pasa a su lado sin requerir contacto físico. Este sensor envía señales al PLC, donde un contador del tipo CTU registra el total de unidades y establece de manera automática cuándo se ha completado un lote, de acuerdo con la cantidad previamente definida por el operador en la HMI. Esta automatización minimiza errores humanos y asegura que cada paquete incluya la cantidad precisa de producto.

Una vez que se alcanza la cifra deseada, el sistema activa un dispositivo de empaque que lleva a cabo la operación necesaria según el tipo de máquina: sellado térmico, prensado o envasado. A lo largo de este procedimiento, luces indicadoras y mensajes en la pantalla

HMI muestran el progreso del conteo, avisan cuando un lote ha finalizado y facilitan la supervisión del operario. Este conjunto de tecnologías garantiza una presentación consistente del producto, reduce los tiempos operativos y permite llevar un

registro histórico de producción para propósitos de control y trazabilidad.

Componentes Principales

- 1) **Sensor De Temperatura Pt100**
El sensor PT100 es un detector de temperatura por resistencia (RTD) fabricado en platino, reconocido por su precisión y estabilidad en rangos térmicos elevados. En el sistema automatizado del horno, este sensor permite monitorear en tiempo real la temperatura interna y enviar la señal analógica al PLC, que regula la potencia de las resistencias eléctricas para mantener el setpoint térmico establecido. Además, el sistema controla variaciones rápidas mediante un algoritmo PID, evitando sobrecalentamiento y asegurando una cocción uniforme del pan (Omega Engineering, 2021).
- 2) **Finales De Carrera**
Los finales de carrera son dispositivos electromecánicos que detectan posiciones extremas de un mecanismo. En este proyecto se utilizan en la puerta del horno para verificar que esté completamente cerrada antes de iniciar el ciclo térmico y totalmente abierta durante la extracción del pan. El sistema de control del PLC supervisa constantemente el estado de estos interruptores y, si alguno no coincide con la condición programada, se bloquea la operación y se genera una alarma preventiva en la HMI, asegurando la protección del operario y del equipo (Rockwell Automation, 2021).
- 3) **Sensor Fotoeléctrico De Presencia**
El sensor fotoeléctrico detecta la presencia del pan sobre la banda transportadora mediante la interrupción de un haz infrarrojo. Cuando el producto entra en el campo del sensor, se envía una señal digital al PLC que activa automáticamente el sistema de enfriamiento o habilita la siguiente etapa del proceso. Los sensores fotoeléctricos modernos incorporan autoajuste de ganancia y alta inmunidad al polvo y la humedad, características esenciales en entornos alimentarios (SICK Sensor Intelligence, 2023).
- 4) **Sensor Óptico De Conteo**
El sensor óptico de conteo opera mediante un haz luminoso de alta velocidad que detecta cada unidad de pan al pasar por la banda. Una vez se interrumpe el haz, se envía un pulso al PLC, que incrementa el contador interno y determina cuándo activar el sistema de empaque según el número programado por lote. Este tipo de sensores se utiliza ampliamente en líneas automáticas porque garantizan precisión incluso a altas velocidades y reducen el margen de error en procesos de clasificación (Banner Engineering, 2022).
- 5) **Resistencia Eléctrica Del Horno**
Las resistencias eléctricas industriales convierten

energía eléctrica en calor mediante Elementos Calefactores De Aleación Ni-Cr. En El Horno Automatizado, Estas Resistencias Son reguladas por el PLC a través de SSR o contactores, permitiendo controlar la potencia térmica de manera progresiva. El sistema monitorea continuamente la temperatura mediante el PT100 y ajusta la potencia para evitar fluctuaciones excesivas, garantizando un calentamiento uniforme y eficiente en el proceso de horneado (Watlow, 2021).

6) Relé De Estado Sólido (Ssr)

El relé de estado sólido (SSR) es un dispositivo electrónico que permite conmutar cargas eléctricas sin partes mecánicas en movimiento, evitando chispas, vibraciones y desgaste. En el horno automatizado, el SSR controla la activación y desactivación de las resistencias eléctricas con alta velocidad de respuesta y mayor vida útil que los contactores tradicionales. El PLC envía una señal de control al SSR, que regula con precisión la potencia térmica necesaria para mantener la temperatura estable en cada etapa del proceso (Schneider Electric, 2023).

7) Contactor Eléctrico

El contactor es un interruptor electromecánico diseñado para controlar cargas de mayor potencia, como motores y ventiladores del sistema de horneado y enfriado. En esta automatización, el PLC envía una señal de mando que energiza la bobina del contactor, cerrando sus contactos principales y alimentando los motores involucrados. Los contactores modernos incluyen protecciones contra sobrecarga y arcos eléctricos, garantizando seguridad y confiabilidad durante ciclos repetitivos (Siemens, 2021).

ACTUADOR ELÉCTRICO O NEUMÁTICO

El actuador es el elemento encargado de abrir y cerrar automáticamente la puerta del horno. Cuando el PLC verifica que la temperatura, sensores y etapas previas están en condiciones adecuadas, envía una orden al actuador para realizar el movimiento de apertura o cierre. Los actuadores modernos incluyen sensores internos de posición que permiten verificar su estado en tiempo real, mejorando la seguridad operativa y la precisión del movimiento en procesos repetitivos (Festo, 2022).

- Motor De Extracción Del Pan

El motor de extracción es el encargado de desplazar las bandejas o piezas de pan hacia la banda transportadora una vez finalizado el horneado. El PLC gestiona el encendido del motor mediante un contactor o SSR, controlando su tiempo de operación para asegurar que el pan sea removido sin golpes o daños. Los motores modernos de inducción IE3 se caracterizan por su alta eficiencia energética, baja vibración y resistencia

térmica, cualidades indispensables cerca de áreas de alta temperatura como el horno (WEG, 2023).

- Banda Transportadora

La banda transportadora permite el desplazamiento del pan entre las etapas de extracción, enfriamiento y empaque. Está construida con materiales sanitarios aprobados por la FDA y la norma EU 10/2011, adecuados para contacto directo con alimentos. El PLC controla la velocidad del motorreductor que impulsa la banda, garantizando un flujo continuo y seguro del producto. Los sistemas de transporte modernos integran rodillos de acero inoxidable y bandas modulares de fácil limpieza, optimizando la higiene y el mantenimiento en industrias alimentarias (Dorner, 2023).

- Ventiladores Industriales De Enfriamiento

Los ventiladores industriales generan un flujo continuo de aire que reduce la temperatura del pan una vez sale del horno. El PLC activa automáticamente estos ventiladores cuando los sensores detectan la llegada del producto a la zona de enfriamiento. Los modelos actuales utilizan motores EC de alta eficiencia, menor consumo energético y control de velocidad variable, lo que permite ajustar el caudal de aire según el tipo de pan y la temperatura requerida para el empaque (ebm-papst, 2020).

- Actuador Del Sistema De Empaque

Este actuador se encarga de introducir el pan en las bolsas o activar el sistema de sellado según el diseño del proceso. Una vez el sensor óptico confirma el número de unidades del lote, el PLC ordena al actuador realizar el ciclo de empaque. Los actuadores modernos para líneas de empaque son rápidos, precisos y diseñados para altos ciclos de trabajo con desgaste mínimo, lo que permite mantener la continuidad y eficiencia del proceso (Bosch Packaging, 2021).

- Plc Siemens S7-1200

El PLC Siemens S7-1200 es el controlador principal del sistema, encargado de recibir señales de sensores, procesar la lógica programada en TIA Portal y ejecutar acciones sobre actuadores y motores. El controlador gestiona funciones críticas como el control de temperatura mediante el PT100, la secuencia automática del horneado, el conteo de piezas, la velocidad de la banda y la sincronización del empaque. La serie S7-1200 destaca por su arquitectura modular, diagnósticos avanzados y comunicación mediante PROFINET, lo que facilita la integración con HMI y sistemas de supervisión (Siemens, 2023).

- Fuente De Alimentación 24 Vdc

La fuente de 24 VDC suministra energía estable y segura a los sensores, PLC, HMI y dispositivos electrónicos del sistema. Las

fuentes modernas tipo DIN-rail incluyen protecciones contra sobrecorriente, cortocircuitos, sobretensión y picos de tensión. El PLC monitorea el estado de la fuente para detectar caídas de voltaje y generar alarmas en la HMI, asegurando continuidad operativa y previniendo fallas en la lógica de control (MeanWell,2022).

- Hmi (Interfaz Hombre-Máquina)

La HMI es la interfaz interactiva donde el operario visualiza el estado del sistema, controla parámetros, recibe alarmas y monitorea cada etapa del proceso. Desde la pantalla táctil, es posible ajustar la temperatura del horno, verificar el conteo del pan, revisar el estado de sensores y activar modos manuales para mantenimiento. Las HMI modernas integran gráficos dinámicos, tendencias, registro de eventos y comunicación mediante PROFINET o Modbus, facilitando la operación segura del sistema (Siemens, 2022).

XXII. SIMULACION

Simulación

En cuanto a la lógica de control del sistema fue implementada en el PLC Siemens S7-1200 mediante el lenguaje de programación Ladder (LD), siguiendo el estándar IEC 61131-3. A continuación, se describe la función de los bloques más relevantes:

- Red 1 – Arranque del Sistema:
Utiliza un contacto normalmente abierto (I0.0) para iniciar el sistema y un contacto de memoria (M0.0) para mantener el estado de marcha. Este bloque asegura que el sistema solo se active cuando el operador presiona el botón de inicio y se mantenga en funcionamiento hasta que se active la parada de emergencia.
- Red 2 – Control de Temperatura del Horno:
Incluye un comparador analógico que lee la temperatura del sensor PT100 (IW64) y la compara con el setpoint definido en el HMI. Si la temperatura es inferior al setpoint, se activa la salida Q1.0 que enciende la resistencia calefactora.
- Red 3 – Temporización de Horneado:
Emplea el temporizador T1 (TON) con un preset de 1800 segundos (30 minutos). Al completarse el tiempo, se activa la memoria M6.2 que habilita la apertura de la puerta del horno.
- Red 4 – Conteo de Panes:
Utiliza un contador ascendente (CTU) que se incrementa cada vez que un sensor de proximidad (I0.5) detecta el paso de un pan. Al alcanzar el valor preset, se activa la salida Q1.5 que inicia el empaquetado.”

Utiliza un contador ascendente (CTU) que se incrementa cada vez que un sensor de proximidad (I0.5) detecta el paso de un pan. Al alcanzar el valor preset, se activa la salida Q1.5 que inicia el empaquetado.”

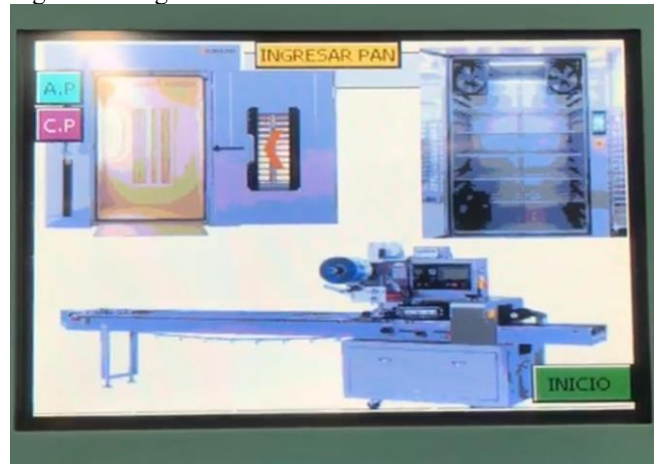
XXIII. PROGRAMACION Y SIMULACION

XXIII-A. Explicaciones técnicas de las capturas de TIA PORTAL

Etapa de inicio y preparación del horno

En la primera pantalla del sistema se encuentran los controles principales de inicio, donde se puede observar un botón de “Inicio”, indicadores de programa en función, y un botón de parada o emergencia como se muestra en pantalla.

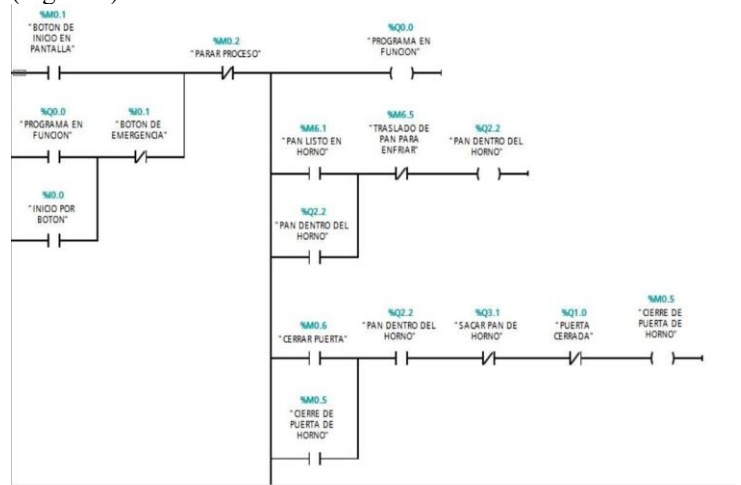
Figura 1. Imagen inicial



Fuente. Propia

Cuando el operador presiona el botón de inicio, el sistema activa la salida Q0.0, la cual mantiene el programa anclado y en funcionamiento continuo.

(Figura 2)



Fuente. Propia

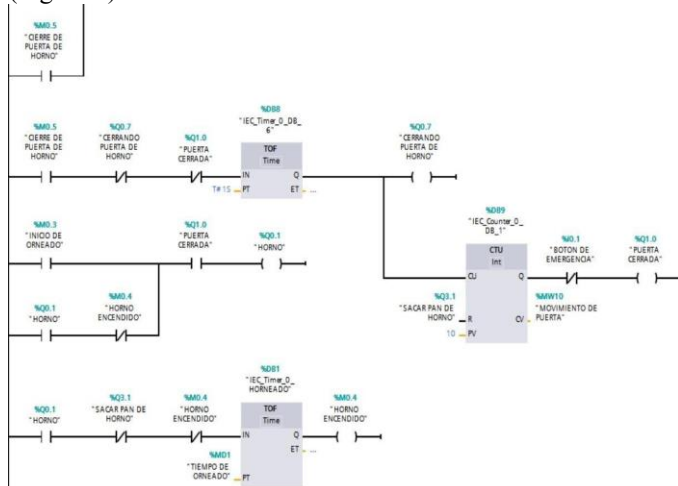
Ingresar Pan

Antes de dar inicio al ciclo térmico, el sistema ejecuta una secuencia de verificación que asegura las condiciones operativas básicas. A través de la interfaz HMI, se solicita al operador que confirme la correcta colocación del pan en el horno mediante un pulsador virtual etiquetado como "INGRESAR PAN". Al activarse esta función, se da una señal de memoria interna (ej. M10.0) que representa la condición de

"pan dentro del horno". Esta señal actúa como un permiso lógico (interlock) que habilita en la interfaz el siguiente comando: "CERRAR PUERTA".

La seguridad operativa y la integridad de la secuencia se refuerzan mediante un sensor de presencia (por ejemplo, un sensor inductivo o de barrera fotoeléctrica, direccionado como entrada I0.1) que verifica físicamente la presencia de la bandeja o producto en la cavidad del horno. Si este sensor no detecta el producto, la señal "pan dentro del horno" no se activa, impidiendo lógicamente que la puerta pueda ser cerrada y, por consiguiente, que se active el proceso de horneado. Este interbloqueo evita errores de secuencia y protege al horno de funcionar en vacío, garantizando que el proceso solo comience cuando las condiciones mecánicas y de carga sean las correctas. Una vez que se confirma tanto la acción del operador en la HMI como la señal del sensor de presencia, y la puerta ha sido cerrada (verificada mediante un final de carrera I0.2), el sistema habilita el botón de "INICIO DE HORNEADO" en la pantalla. Al presionarlo, se activa la salida del PLC (ej. Q1.0) que inicia el ciclo, cambiando el estado visual en la HMI a "HORNEADO EN PROCESO" y dando paso de forma automática a la siguiente etapa, que comprende la activación de las resistencias calefactoras y el inicio de la temporización.

(Figura 3)



Fuente. Propia

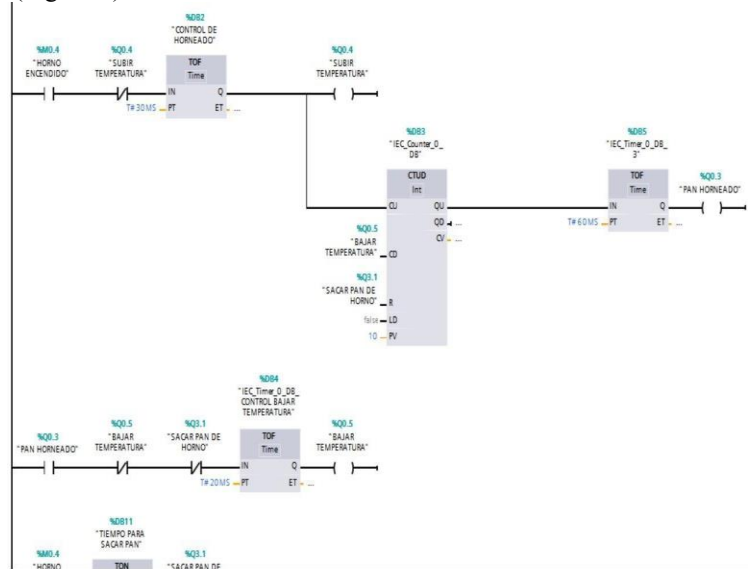
Control del proceso de horneado

En la interfaz de control principal del horno, se integran los elementos esenciales para la supervisión y gestión del proceso térmico. La pantalla presenta en tiempo real variables críticas como el tiempo de horneado restante, la temperatura actual de la cámara —medida mediante el sensor PT100— y una serie de indicadores de estado del proceso que permiten al operador verificar el correcto funcionamiento del sistema en cada fase.

La activación del ciclo de horneado es gestionada por la salida digital Q1.0 del PLC, la cual se energiza mediante un flanco de activación (pulso corto) generado cuando el operador presiona el botón de "Inicio de Horneado" en la HMI. Este diseño evita que el sistema se active de forma involuntaria y garantiza que el proceso comience solo tras una confirmación expresa del usuario. Una vez iniciado, el sistema asume el control automático de la temperatura a través del lazo PID y gestiona la

temporización programada, sincronizando ambas variables para asegurar una cocción uniforme y repetible.

(Figura 4)



Fuente. Propia

Tiempo de horneado

La duración del proceso de horneado es definida de manera flexible por el operador mediante un registro de tiempo configurable desde la interfaz HMI. Este valor, almacenado en una variable del PLC (por ejemplo, un registro de datos MD20), permite adaptar el ciclo a las características específicas de cada tipo de masa, garantizando así la personalización del proceso productivo.

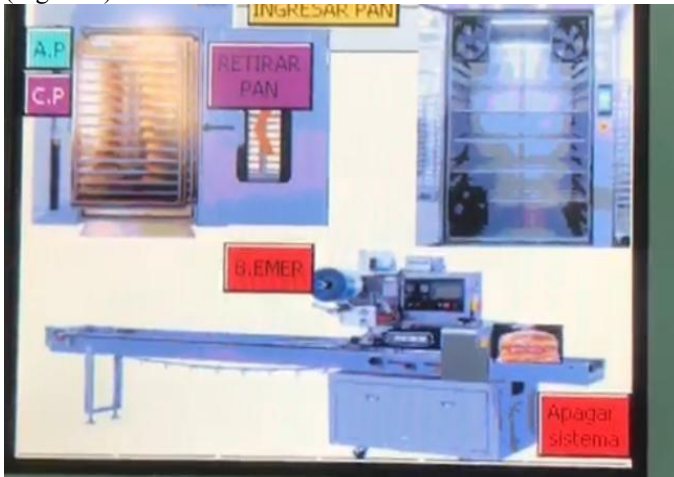
Durante la fase de cocción, la temperatura del horno es regulada mediante una estrategia de control que combina pulsos de activación y desactivación de la resistencia calefactora, gestionados por temporizadores con retardos a la conexión y desconexión. Esta técnica de control oscilante, operando en intervalos regulares predefinidos, permite mantener la temperatura dentro de un rango estrecho alrededor del setpoint establecido. La lógica implementada evita los sobrecalentamientos y asegura una distribución homogénea del calor, lo que se traduce directamente en una cocción uniforme del producto y en una mejora sustancial de la calidad final del pan.

Transición a la Etapa de Finalización

Al completarse el tiempo de horneado programado, el temporizador principal (ej. T1) cambia su estado, lo que desencadena automáticamente la transición a la fase de finalización. El

sistema actualiza la interfaz HMI, mostrando el mensaje "RETIRAR PAN" de forma destacada, e indica mediante señalización visual que el ciclo de cocción ha concluido. Simultáneamente, se desactiva la salida de la resistencia calefactora (Q1.0) y se habilita la secuencia posterior, que puede incluir la apertura automática de la puerta o el enfriamiento controlado, preparando el producto para la siguiente etapa del proceso.

(Figura 5)



Fuente. Propia

Sacar pan de horno

Una vez finalizado el ciclo de horneado y confirmada la estabilización térmica en el interior de la cámara, el sistema procede con la fase de extracción del producto. En este punto, se activa la salida Q3.1 del PLC, la cual controla el mecanismo de descarga y se asocia en la interfaz HMI con el mensaje "SACAR PAN DE HORNO", indicando claramente al operador la acción en curso.

Paralelamente, la señal de memoria interna M6.2 es energizada, funcionando como un permiso lógico (interlock) que habilita la apertura segura de la puerta del horno. Esta acción es gestionada mediante un actuador neumático o eléctrico (dependiendo del diseño mecánico), garantizando que la apertura se realice de forma controlada y sincronizada con el resto de la secuencia automática.

Abriendo Puerta

Durante la fase de apertura de la puerta del horno, la señal de memoria M6.3, etiquetada como "Abriendo puerta", se mantiene activada mediante un circuito de enclavamiento (seal-in circuit), proporcionando una indicación constante en la HMI del estado en curso del proceso. Esta realimentación visual permite al operador monitorear la transición de manera segura y confiable. La finalización exitosa de esta etapa es verificada mediante un sensor de posición o final de carrera (por ejemplo, dirección I0.6), que confirma que la puerta ha alcanzado su posición de apertura total. Al detectarse esta condición, el sistema actualiza automáticamente la interfaz HMI, reemplazando el mensaje anterior por "Retirar pan del horno", lo que sirve como indicación clara para que el operador proceda con la siguiente acción manual o automática, según corresponda.

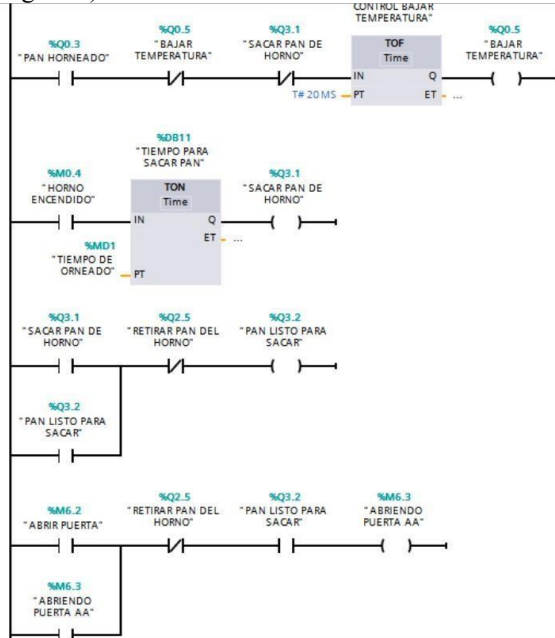
5.X Etapa de Traslado y Enfriamiento del Pan

Una vez confirmada la apertura completa de la puerta, se activa la señal M6.6, la cual inicia la secuencia automatizada de traslado del pan hacia la zona de enfriamiento. Este proceso se realiza mediante un sistema de banda transportadora accionado por un motor controlado por el

PLC (por ejemplo, mediante salida Q2.0), asegurando un movimiento continuo, controlado y seguro del producto. La activación del transportador está sujeta a verificaciones de seguridad, garantizando que no existan obstrucciones y que el producto esté correctamente posicionado para su desplazamiento.

Al llegar el pan a la zona de enfriamiento, confirmado por un sensor de presencia (I0.7), se inicia la etapa de enfriamiento forzado mediante ventiladores accionados por la salida Q2.1. El tiempo de funcionamiento de los ventiladores es gestionado por un temporizador programable (ej. T2) desde la HMI, permitiendo adaptar la duración del enfriamiento según las características del producto. Esta etapa controlada garantiza la correcta estabilización térmica del pan previa al empaquetado, mejorando la calidad final y preparando el producto para la siguiente fase del proceso.

(Figura 6)



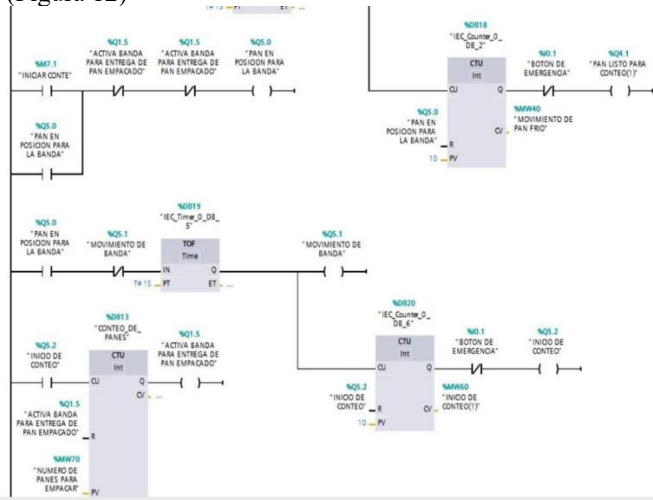
Fuente. Propia

(Figura 7)

entrada I1.0) detecta el paso de una pieza a través de la banda transportadora, el valor del contador se incrementa automáticamente. El sistema muestra en tiempo real tanto el valor acumulado como el porcentaje de avance respecto a la meta establecida, proporcionando retroalimentación inmediata al operador.

Esta funcionalidad permite no solo automatizar el proceso de empaquetado por lotes, sino también generar datos precisos para la trazabilidad del producto y el control de producción. Cuando el contador alcanza el valor programado, se activa automáticamente la siguiente etapa del proceso (por ejemplo, el mecanismo de empaquetado) mientras se reinicia el ciclo de conteo para el siguiente lote.

(Figura 12)



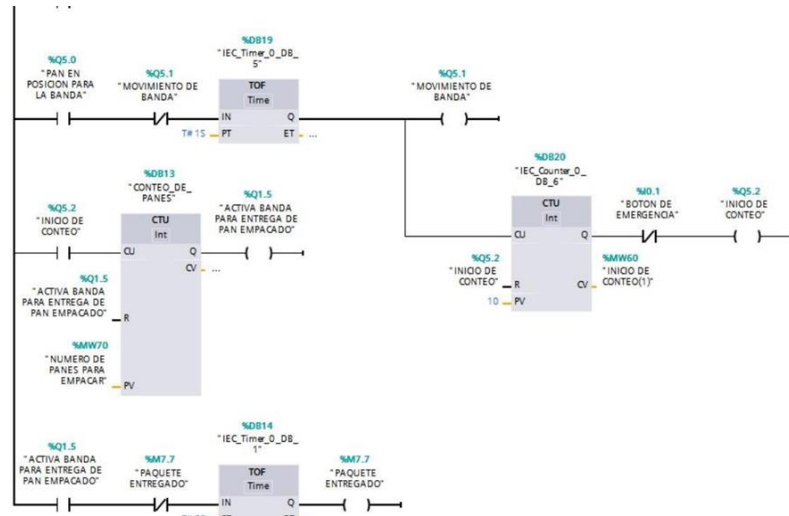
Conteo de panes

Una vez completado el proceso de enfriamiento, se inicia la etapa de transporte hacia el área de empaquetado mediante la activación de la señal M7.6, identificada en el programa como "moviendo pan". Esta señal actúa como habilitador lógico que pone en funcionamiento la banda transportadora diagonal, la cual se encarga de trasladar los panes de forma sincronizada y controlada hasta la estación de empaquetado.

El movimiento de la banda es gestionado directamente por la salida Q5.2 del PLC, que controla el contactor o variador de frecuencia del motor de accionamiento. Esta configuración permite no solo el arranque y parada del transportador, sino también la posibilidad de regular la velocidad de transporte para adaptarse a los requerimientos específicos del proceso.

De forma simultánea, el sistema mantiene activo el módulo de conteo en tiempo real, donde un sensor de proximidad instalado estratégicamente en la banda verifica el paso de cada unidad. Esta verificación asegura que el número de panes transportados coincida con la cantidad programada inicialmente, cerrando el ciclo de control y garantizando la integridad del lote antes de su empaquetado final.

(Figura 13)



Mecanismo de empaquetado

Al alcanzarse el número programado de unidades en el contador de producción, el sistema genera una señal de finalización que activa la salida Q1.5 del PLC. Esta salida, configurada como un pulso de duración controlada, activa el mecanismo de empaquetado que puede consistir en un brazo neumático, una selladora térmica o un sistema de embolsado, según el diseño específico de la línea.

La activación de este mecanismo está sujeta a múltiples condiciones de seguridad implementadas en la lógica del controlador, incluyendo la verificación de la posición correcta del producto mediante sensores de presencia y la confirmación del estado de preparación del equipo de empaquetado. Esta verificación integral garantiza que la operación se ejecute solo cuando todas las condiciones operativas sean las adecuadas.

La conclusión exitosa de esta etapa marca el cierre del ciclo automático completo del sistema, desde el horneado hasta el empaquetado, demostrando la efectividad de la integración entre los sistemas de control, los elementos de transporte y los actuadores finales.

XXIV. ANALISIS Y RESULTADOS

Después de culminar el diseño y la simulación del sistema automatizado de horneado, enfriado y empaque de una panadería, es posible realizar un análisis amplio y crítico de los resultados alcanzados durante el desarrollo del proyecto. Este trabajo surge como respuesta a la necesidad de modernizar los procesos tradicionales de producción de pan, los cuales en muchas panaderías de la región todavía dependen del trabajo manual. Esta situación genera tiempos de operación más largos, variaciones en la calidad del producto final y riesgos para el personal debido a la manipulación directa de hornos y bandejas calientes.

El proyecto permitió integrar de manera efectiva los principios de la automatización industrial con el proceso productivo de panadería. A través del uso de un PLC, sensores, actuadores y una interfaz HMI, se logró demostrar que la automatización no solo mejora el control del proceso, sino que también aporta beneficios en eficiencia, seguridad, repetitividad y gestión de

parámetros operativos. Uno de los resultados más relevantes fue la capacidad de estandarizar las condiciones de horneado, lo que contribuye a obtener una calidad uniforme en cada lote de producto, algo difícil de lograr en procesos manuales.

La simulación evidenció también que la automatización reduce significativamente el tiempo de traslado entre etapas, ya que el sistema coordina de manera secuencial el movimiento de bandejas, controla los tiempos de horneado y activa automáticamente las etapas de enfriado y empaquetado sin depender de la intervención humana. Esto disminuye los errores operativos y mejora el aprovechamiento del tiempo de trabajo. Además del impacto técnico y productivo, el proyecto representó un aporte importante en la formación profesional. El proceso de diseño, programación y simulación permitió fortalecer competencias en control de procesos, instrumentación industrial, lógica de programación en PLC y análisis de sistemas automatizados. Este trabajo se convierte en una herramienta formativa útil para asignaturas relacionadas con automatización, procesos industriales y robótica, ya que reproduce condiciones cercanas a un entorno real de producción.

En conjunto, los resultados del proyecto pueden analizarse desde tres dimensiones complementarias:

- Dimensión técnica, relacionada con el desempeño del sistema, la programación del PLC, la integración de sensores y actuadores, y la confiabilidad de la automatización simulada.

- Dimensión operativa, vinculada con la optimización del proceso, la reducción de tiempos, la mejora en la seguridad del operario y la estandarización de la calidad del pan producido.

- Dimensión formativa, asociada al fortalecimiento de habilidades prácticas y al aprendizaje aplicado de conceptos de automatización industrial, permitiendo a los estudiantes enfrentarse a proyectos con características similares a los de la industria real.

En conclusión, el desarrollo del sistema automatizado evidencia que la modernización tecnológica en procesos de panadería no solo es posible, sino altamente beneficiosa a nivel industrial y académico. Este proyecto demuestra que la automatización contribuye de manera directa a mejorar la competitividad, la seguridad del personal y la calidad del producto final, además de servir como una base sólida para futuras mejoras o ampliaciones del proceso productivo.

XXV. CONCLUSIONES

- El sistema automatizado para hornear, enfriar y empaquetar pan creado proporciona un control secuencial, exacto y seguro de todas las fases del proceso de producción, desde el encendido del horno hasta el empaquetado final del producto.
- Al utilizar un PLC Siemens programado en el entorno TIA Portal V11, junto con una interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina), el operador tiene la capacidad de supervisar, ajustar y controlar en tiempo real aspectos

como la temperatura, el tiempo de horneado y el conteo de producción. Esto reduce significativamente las equivocaciones humanas, mejora la trazabilidad del sistema y potencia la eficiencia operativa en cada ciclo.

- La ejecución de este proyecto permitió aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos en automatización industrial, control de procesos e ingeniería mecánica, logrando el diseño y simulación de un sistema eficiente, confiable y adaptable que optimiza las fases principales de la panadería. La automatización integral de los procesos de horneado, enfriado y empaque facilitó la estandarización de las operaciones, reducción de los tiempos de ciclo y minimización de la intervención manual, asegurando así una mejor uniformidad en la calidad del producto final.
- El modelado y simulación del sistema mostraron un notable aumento en la eficiencia productiva, gracias a la sincronización de sensores, actuadores, transportadores y mecanismos neumáticos, lo cual permitió disminuir los tiempos de espera entre los procesos y aprovechar al máximo la energía eléctrica disponible.
- Igualmente, la implementación del proyecto destacó la importancia del diseño y la aplicación de principios de ingeniería y seguridad de acuerdo con normas técnicas internacionales (IEC y ISO), integrando sistemas eléctricos, neumáticos y de control que garantizan la fiabilidad del proceso y la protección del operario en las operaciones críticas.
- Desde un enfoque académico y tecnológico, este estudio mejoró las habilidades en programación de PLC, diseño de sistemas automáticos, simulación industrial y control de procesos, contribuyendo al avance de la ingeniería aplicada para modernizar pequeñas y medianas empresas del sector alimentario.
- En resumen, este tipo de automatización supone un notable progreso para la industria del pan, al integrar en un único sistema el control de temperatura, tiempo, transporte, enfriamiento y empaquetado, garantizando procesos más eficientes, precisos y confiables, mientras se elevan los estándares de calidad y productividad en la elaboración de productos alimenticios.

REFERENCIAS

- [1] Asociación Colombiana de Ingenieros. (2023). Estudio de viabilidad tecnológica para la automatización de PYMES en Colombia. Bogotá:

- ACI.
- [2] Asociación Colombiana de Panaderías. (2024). Diagnóstico del sector panadero colombiano 2024. Bogotá: ACP.
- [3] Beckhoff. (n.d.). Powerful and open control technology helps create “Baumkuchen 4.0” bakery. Beckhoff South Africa. <https://www.beckhoff.com/en-za/company/news/powerful-and-open-control-technology-helps-create-baumkuchen-4-0-bakery.html>
- [4] Bolton, W. (2020). Programmable logic controllers. Routledge.
- [5] Castaño, F. (2021). Dispositivos de sensado y actuación en la automatización industrial. Editorial Alfaomega.
- [6] Castillo, J., & Muñoz, P. (2020). Implementación de sistemas de control HMI y PLC en procesos industriales. *Revista de Ingeniería Aplicada*, 8(2), 33–47.
- [7] Centro de Investigación en Ingeniería Alimentaria. (2024). Tecnologías Industry 4.0 en la industria alimentaria colombiana. *Revista Colombiana de Ingeniería de Alimentos*, 12(2), 45–62.
- [8] Consejo Nacional de Acreditación. (2024). Estándares de competencia para ingenieros mecánicos. Bogotá: CNA.
- [9] Congreso de la República de Colombia. (1979). Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan medidas sanitarias. *Diario Oficial No. 35.308*.
- [10] Congreso de la República de Colombia. (2011). Ley 1480 de 2011. Estatuto del Consumidor.
- [11] *Diario Oficial No. 48.220*.
- [12] Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. *Diario Oficial No. 49.150*.
- [13] Cruz, D., Hernández, F., & Peña, L. (2020). Aplicación de sistemas PLC en la automatización de procesos alimentarios. *Revista Colombiana de Ingeniería y Tecnología*, 12(2), 33–47.
- [14] Cruz, L., Rodríguez, F., & Paredes, A. (2020). Automatización y control industrial en el sector alimentario: eficiencia y seguridad en los procesos productivos. *Revista de Ingeniería Aplicada*, 12(3), 45–59.
- [15] Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). Documento CONPES 4069: Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021–2030.
- [16] García, L., & Peña, J. (2022). La Industria 4.0 y su impacto en la eficiencia productiva. *Revista Colombiana de Ingeniería*, 34(2), 45–59.
- [17] García, P., & Herrera, L. (2022). Tecnologías avanzadas para la optimización de procesos industriales automatizados. *Revista de Ingeniería y Control*, 18(2), 56–67.
- [18] Gómez, C., & Torres, A. (2021). Industria 4.0 y automatización de procesos en el sector manufacturero. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 18(3), 56–72.
- [19] Gómez, J., & Salazar, E. (2022). Industria 4.0 y la evolución de la automatización industrial: una revisión crítica. *Revista Iberoamericana de Ingeniería*, 18(3), 77–94.
- [20] Gómez, P., & Torres, J. (2021). Fundamentos de la automatización industrial y control inteligente. Editorial Alfaomega.