Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Migración del sistema de control de un horno vertical en una planta de cemento en el departamento de San Martín

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

George Brayan TAPIA DELGADO

ASESOR

Victor Edmundo ALVA SALDAÑA

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Tapia, G. (2026). *Migración del sistema de control de un horno vertical en una planta de cemento en el departamento de San Martín*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	George Brayan Tapia Delgado
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47983129
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Victor Edmundo Alva Saldaña
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07299248
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-7698-2993
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Geronimo Huaman
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Teresa Esther Nuñez Zuñiga
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08006778
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jorge Elías Moscoso
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08596442
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.07.19.02 Automatización industrial
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Cementos Selva SAC País: Perú Departamento: San Martín Provincia: Rioja Distrito: Elías Soplín Vargas Centro poblado: Segunda Jerusalén Latitud: -5.995983 Longitud: -77.272532
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2024 – Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú

ACTA DE SUSTENTACIÓN
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
ACTA N°78/FIEE-PPP/2026

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 29 de Octubre del 2026, como Presidente de Jurado la **DRA. TERESA ESTHER NUÑEZ ZUÑIGA,** integrado por el Miembro de Jurado el **DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ,** el Miembro de Jurado el **DR. CELSO YSIDRO GERONIMO HUAMAN** y Miembro Asesor el **ING. VICTOR EDMUNDO ALVA SALDAÑA.**

Después de escuchar la Sustentación Presencial del Trabajo de Suficiencia Profesional del Bachiller **GEORGE BRAYAN TAPIA DELGADO** con código 12190032 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN HORNO VERTICAL EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.**

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 17 (Diecisiete).

Ciudad Universitaria, 29 de Octubre del 2026

DRA. TERESA ESTHER NUÑEZ ZUÑIGA
Presidente Jurado

DR. CELSO YSIDRO GERONIMO HUAMAN
Miembro Jurado

DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ
Miembro Jurado

ING. VICTOR EDMUNDO ALVA SALDAÑA
Miembro Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **VICTOR EDMUNDO ALVA SALDAÑA** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°79/FIEE-PPP/2026 del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN HORNO VERTICAL EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN,** presentado por el bachiller GEORGE BRAYAN TAPIA DELGADO, para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 05% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de Ingeniero Electrónico.

Lima, 29 de Octubre del 2026

Firma del Asesor

DNI: 07299248

Nombres y apellidos del asesor:
VICTOR EDMUNDO ALVA SALDAÑA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a

Mi madre, Alicia Silvia Delgado Ramos, quien con mucho amor y dedicación me enseño los valores del hogar. Gracias por acompañarme en dar los primeros pasos de mi vida.

A mi padre, José Antonio Tapia Rosas, por ser el soporte de nuestra familia y por enseñarme con su ejemplo el verdadero valor de la constancia, la responsabilidad y el trabajo.

Este trabajo representa todos los esfuerzos realizados, de su apoyo incondicional y del inmenso amor que me han brindado en cada etapa de mi vida. Este logro es tan suyo como mío.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, agradezco al Mg. Víctor Edmundo Alva Saldaña, asesor de Trabajo de Suficiencia Profesional, por sus observaciones y aportes durante el desarrollo del presente documento.

Asimismo, quiero agradecer al Ing. Ricardo Limaymanta Ticse, mi líder laboral, por la confianza en mi persona y la oportunidad de desarrollar este proyecto.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros de trabajo de Cementos Selva, quienes, con su colaboración y experiencia, hicieron posible este objetivo profesional.

RESUMEN

La presente experiencia profesional detalla la migración del sistema de control del Horno Vertical N°1 de una planta de cemento ubicada en el departamento de San Martín, ejecutada con la finalidad de mejorar la disponibilidad operativa del proceso de clinkerización. La necesidad de este proyecto se generó debido a la obsolescencia tecnológica del sistema de control existente, el cual ocasionaba dificultades en las actividades de mantenimiento, disponibilidad de repuestos y continuidad operativa.

El proyecto incluyó el reemplazo del controlador lógico programable (PLC), módulos de entradas y salidas, módulos de comunicación industrial y la implementación de una nueva interfaz hombre-máquina (HMI). Asimismo, se actualizó el sistema SCADA y se adaptó la lógica de control existente en el nuevo controlador de tecnologías Siemens, incluyendo el desarrollo de los lazos de control PID. La migración se llevó a cabo considerando la arquitectura de red industrial existente, garantizando la integración de todos los dispositivos del sistema.

Como resultado, se logró actualizar el sistema de control, manteniendo la funcionalidad del proceso. Asimismo, la migración permitió mejorar la mantenibilidad de los equipos, facilitar las labores de diagnóstico y soporte, y reducir las limitaciones asociadas a la obsolescencia tecnológica. Además, se eliminaron las paradas operativas no programadas asociada a fallas del PLC y problemas de comunicación, contribuyendo a mejorar la disponibilidad del sistema de control y garantizando la continuidad operativa del proceso.

Palabras clave: Migración de PLC, clinkerización, automatización industrial, control PID, SCADA, redes industriales.

ABSTRACT

This professional experience report describes the migration of the control system of a Vertical Kiln at a cement plant located in the San Martín department, carried out with the purpose of improving the operational availability of the clinkerization process. The need for this project arose from the technological obsolescence of the existing control system, which caused difficulties in maintenance activities, spare parts availability, and operational continuity.

The project included the replacement of the Programmable Logic Controller (PLC), input/output modules, industrial communication modules, and the implementation of a new Human-Machine Interface (HMI). In addition, the SCADA system was upgraded, and the existing control logic was adapted to the new Siemens controller platform, including the development of PID control loops. The migration was carried out considering the existing industrial network architecture, ensuring the integration of all system devices.

As a result, the control system was successfully updated while maintaining process functionality. The migration also improved equipment maintainability, facilitated diagnostics and support, and reduced limitations associated with technological obsolescence. Furthermore, unscheduled operational downtime due to PLC failures and communication problems was eliminated, contributing to improved control system availability and ensuring process continuity.

Keywords: PLC migration, clinkerization, industrial automation, PID control, SCADA, industrial networks.

INDICE GENERAL

CARÁTULA i

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

RESUMEN iv

ABSTRACT v

INDICE GENERAL vi

LISTA DE FIGURAS viii

LISTA DE TABLAS xii

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD 2

2.1 Institución y actividad que desarrolla 2

2.2 Periodo de duración de la actividad 2

2.3 Finalidad y objetivos de la identidad 3

2.4 Razón social 3

2.5 Dirección postal 3

2.6 Nombre y correo electrónico del personal a cargo 3

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 4

3.1 Organización de la actividad 4

3.2 Finalidad y objetivos de la actividad 7

3.2.1 Finalidad *7*

3.2.2 Objetivos *7*

3.3 Problemática 7

3.3.1 Problema General *11*

3.3.2 Problemas específicos *11*

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación *12*
3.4 Metodología 12
3.4.1 Bases Teóricas *13*
3.4.2 Marco conceptual *19*
3.5 Procedimiento 22
3.6 Resultado de la actividad 59
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS **63**
4.1 Descripción de la implementación 63
4.2 Evaluación económica 64
CAPITULO V: CONCLUSIONES **67**
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES **68**
CAPITULO VII: REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS **69**
CAPITULO VIII: ANEXOS **74**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama del área de mantenimiento. Fuente. Adaptado de Intranet de Cementos Pacasmayo*, 2026.* 5
Figura 2 Diagrama de Gantt del proyecto de migración del sistema de control. Fuente. Elaboración propia 6
Figura 3 Proceso de fabricación de cemento. Fuente. Reproducido de *Alternative fuels for use in cement kilns: Process impact modelling* (p. 414), por K. T. Kaddatz, M. G. Rasul y A. Rahman, 2013, *Procedia Engineering, 56*, 413–420. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.141 9
Figura 4 Productos SLC descontinuados y migraciones recomendadas. Fuente. Reproducido de *SLC Select Catalogs End of Life with Migration Letter* (Rockwell Automation, 2022, p. 1). Copyright 2022 por Rockwell Automation. 10
Figura 5 Controlador lógico programable SLC500. Fuente. Elaboración propia 25
Figura 6 Arquitectura de comunicación con SLC500. Fuente. Elaboración propia 26
Figura 7 Especificaciones técnicas PLC Allen-Bradley. Fuente. Elaboración Propia 28
Figura 8 Especificaciones técnicas PLC Siemens. Fuente. Adaptado de *SIMATIC S7-300 CPU 31xC y CPU 31x, Datos técnicos: Manual de producto* (p. 1), por Siemens, 2008, SiePortal (siemens.com). Derechos de autor 2008 por Siemens AG. 30
Figura 9 Arquitectura de Red con PLC Siemens. Fuente. Elaboración propia 33
Figura 10 Configuración de Hardware PLC Siemens. Fuente. Software Simatic Manager Step7 33
Figura 11 Direccionamiento de módulos de entrada y salida. Fuente.

Software Simatic Manager Step7 34
Figura 12 Configuración de entradas analógicas. Fuente. Software Simatic Manager Step7 34
Figura 13 Tabla de símbolos de entradas digitales. Fuente. Software Simatic Manager Step7 35
Figura 14 Configuración de tarjeta de red de PLC Siemens. Fuente. Software Simatic Manager Step7 36
Figura 15 Estructura de programa en PLC Siemens. Fuente. Elaboración propia 37
Figura 16 Bloque de programa OB1. Fuente. Software Simatic Manager Step7 38
Figura 17 Bloque de Datos DB100. Fuente. Software Simatic Manager Step7 39
Figura 18 Diagrama de tiempo del sistema de fluidificación. Fuente. Elaboración propia 40
Figura 19 Motores de alimentación del material crudo. Fuente. Software Aveva Edge. 41
Figura 20 Configuración de remanencia en PLC S7-300. Fuente. Software Simatic Manager Step7 42
Figura 21 Configuración de remanencia en PLC S7-300. Fuente. Software Simatic Manager Step7 43
Figura 22 Configuración de remanencia en PLC S7-300. Fuente. Software Simatic Manager Step7 45
Figura 23 Bloque de control PID. Fuente. Software Simatic Manager Step7 46
Figura 24 Configuración de transmisor TR200. Fuente. Software SipromT 47
Figura 25 Lista de tags de Panel HMI KTP900. Fuente. Software Tia Portal 48
Figura 26 Pantalla Alimentación de crudo Panel HMI. Fuente. Software Tia Portal 50
Figura 27 Conexión gráfico motor Feeder 480185. Fuente. Software Tia Portal 51
Figura 28 Lista de tags de entradas digitales en SCADA. Fuente.

Software Aveva Edge 52
Figura 29 Pantalla tendencia de flujo de material crudo y agua. Fuente. Software Aveva Edge 54
Figura 30 Conexión temperatura del horno. Fuente. Software Aveva Edge 55
Figura 31 Tablero eléctrico de PLC Siemens. Fuente. Elaboración Propia 56
Figura 32 Identificación del Panel HMI en TIA PORTAL. Fuente. Elaboración Propia 57
Figura 33 Interfaz web configuración switch SCALANCE. Fuente. Elaboración Propia 58
Figura 34 Transmisores de temperatura TR200. Fuente. Elaboración propia 59
Figura 35 Nuevo sistema de control Siemens. Fuente. Elaboración propia 59
Figura 36 Pantalla Temperatura de anillo panel HMI. Fuente. Elaboración propia 60
Figura 37 Memoria de PLC Siemens. Fuente. Software Simatic Manager Step7 60
Figura 38 Pantalla Tendencia de material SCADA. Fuente. Elaboración propia 61
Figura 39 Monitoreo de programa de PLC en tiempo real. Fuente. Software Simatic Manager Step7 61
Figura 40 Indicadores de disponibilidad de Hornos. Fuente. Adaptado de *Presentación de indicadores del Área de Mantenimiento, 2025.* 62
Figura A.1 Lógica de programación de sistema de fluidificación de anillo superior de aire. Fuente. Elaboración propia. 74
Figura A.2 Lógica de programación de sistema de fluidificación de anillo inferior de aire. Fuente. Elaboración propia. 74
Figura B.1 Distribución mecánica del sistema de control actual. Fuente. Elaboración propia. 75
Figura B.2 Distribución eléctrica del sistema de control actual. Fuente. Elaboración propia. 75
Figura B.3 Plano eléctrico de módulos de entradas digitales. Fuente.

Elaboración propia. 76
Figura B.4 Plano eléctrico de módulos de entradas analógicas. Fuente. Elaboración propia. 76
Figura B.5 Plano eléctrico de módulos de salidas digitales. Fuente. Elaboración propia. 77
Figura B.6 Plano eléctrico de módulos de salidas digitales. Fuente. Elaboración propia. 77
Figura C.1 Lista de símbolos de las entradas digitales. Fuente. Elaboración propia. 78
Figura C.2 Lista de símbolos de las salidas digitales. Fuente. Elaboración propia. 78
Figura C.3 Lista de símbolos de las entradas analógicas. Fuente. Elaboración propia. 79
Figura C.4 Lista de símbolos de las salidas analógicas. Fuente. Elaboración propia. 79
Figura D.1 Configuración de Hardware PLC Siemens. Fuente. Elaboración propia. 80
Figura D.2 Bloque de programas PLC Siemens. Fuente. Elaboración propia. 80
Figura D.3 Bloque de programa OB1 parte1. Fuente. Elaboración propia. 81
Figura D.4 Bloque de programa OB1 parte2. Fuente. Elaboración propia. 82
Figura D.5 Bloque de programa OB35. Fuente. Elaboración propia. 83
Figura D.6 Bloque de programa PID en OB35. Fuente. Elaboración propia. 84
Figura D.7 Bloque de datos DB100. Fuente. Elaboración propia. 85
Figura D.8 Bloque de datos DB150. Fuente. Elaboración propia. 86
Figura D.9 Bloque de datos DB90. Fuente. Elaboración propia. 87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Equipos operativos en el Horno Vertical N°1 23
Tabla 2 Instrumentos instalados en el Horno Vertical N°1 24
Tabla 3 Equipos del proceso Horno Vertical N°1 25
Tabla 4 Cantidad de entradas y salidas de PLC Allen-Bradley 29
Tabla 5 Cantidad de entradas y salidas en PLC Siemens 31
Tabla 6 Lista de módulos requeridos PLC Siemens 32
Tabla 7 Lista de dispositivos de red 32
Tabla 8 Costo de la implementación 64
Tabla 9 Datos operativos 65
Tabla 10 Resultados de la evaluación económica 65

CAPÍTULO I:
INTRODUCCIÓN

En la industria cementera, el proceso de clinkerización es considerado la etapa más importante, debido a que en esta fase se llevan a cabo diversas reacciones térmicas que permiten la formación de clínker, el cual determina las propiedades mecánicas y calidad del producto final.

En este contexto los PLC, sistemas SCADA, paneles HMI y las comunicaciones industriales cumplen un rol importante en la supervisión y control del proceso. Sin embargo, la obsolescencia tecnológica de estos equipos ha limitado el rendimiento operativo y dificultado las labores de mantenimiento y soporte del sistema.

La presente experiencia profesional se desarrolló en una planta de cemento ubicada en el departamento de San Martín, donde el sistema de control del Horno Vertical N°1 presentaba limitaciones ocasionadas por la obsolescencia tecnológica. Esta condición generaba riesgos en la continuidad operativa del proceso y dificultades en el soporte de los equipos.

Frente a esta problemática, se ejecutó la migración del sistema de control hacia una nueva plataforma, el cual incluyó el reemplazo del PLC, módulos de E/S y comunicación, así como la instalación de una interfaz HMI y la actualización del sistema SCADA. Además, se adaptó la lógica de control existente y se implementó lazos PID para la dosificación de flujo de material crudo y agua al horno, asegurando la continuidad del proceso.

El objetivo principal de este proyecto fue mejorar la disponibilidad operativa del Horno Vertical N°1 mediante la actualización del sistema de control, considerando la arquitectura de red industrial existente. Como resultado, se logró modernizar el sistema de control, mejorar la mantenibilidad y asegurar la continuidad operativa del proceso de clinkerización.

CAPÍTULO II:
INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución y actividad que desarrolla

Cementos Selva es una empresa peruana, subsidiaria de Cementos Pacasmayo, fundada en el año 2000 y ubicada en la ciudad de Rioja. La empresa se dedica a la producción de cemento, concreto premezclado y elementos prefabricados, abasteciendo principalmente a la zona nororiental del Perú, que comprende las regiones de Amazonas, Loreto y San Martín. Asimismo, Cementos Selva es una empresa estratégica para el grupo Pacasmayo, ya que permite atender de manera oportuna la demanda de cemento de esta región del país.

La empresa cuenta con una capacidad instalada para producir aproximadamente 223,000 toneladas métricas de cemento al año. Además de su actividad productiva, Cementos Selva genera empleo para la población local y apoya proyectos comunitarios en su zona de influencia, contribuyendo al desarrollo económico y social de la ciudad de Rioja.

2.2 Periodo de duración de la actividad

La ejecución del presente proyecto de migración del sistema de control se desarrolló durante el periodo comprendido entre los meses de Junio y Octubre del año 2024. Durante este intervalo de tiempo se realizó en primer lugar el análisis y diagnóstico del estado actual del sistema de control, lo que permitió identificar sus condiciones operativas y las oportunidades de mejora.

Posteriormente, se llevó cabo la planificación de la migración, en el cual se definió el alcance y se elaboró un cronograma de actividades. A continuación, se realizó el diseño del nuevo sistema de control, etapa donde se definió la mejor solución para la migración.

Seguidamente, se ejecutó la fase de desarrollo y configuración, el cual comprendió la programación del PLC y la configuración del sistema SCADA. Luego se procedió con la implementación en campo, mediante la instalación de los nuevos equipos. Finalmente, se efectuó la puesta en marcha del sistema, seguida del monitoreo y la optimización, donde se verificó el correcto funcionamiento del sistema de control y se realizaron los ajustes necesarios para optimizar su rendimiento.

2.3 Finalidad y objetivos de la identidad

Cementos Selva es una empresa peruana cuya finalidad es la producción y comercialización de cemento de alta calidad, atendiendo especialmente las regiones al mercado nororiente del Perú (San Martín, Amazonas y Loreto).

Tiene como principales objetivos mantener, mejorar y ampliar la planta de producción, con el fin de incrementar los volúmenes de fabricación y atender de manera eficientemente la demanda regional. Asimismo, la empresa busca cumplir con las normas ambientales, tales como los planes de cierre de minas y canteras, la mitigación del impacto de sus actividades extractivas y la adopción de buenas prácticas ambientales.

Adicionalmente, Cementos Selva mantiene estándares de calidad en sus productos, optimiza sus procesos de producción y mejora la productividad mediante la implementación de modelos de mantenimiento confiable, con el fin de garantizar su competitividad en el mercado.

2.4 Razón social

La razón social de la empresa es Cementos Selva S.A.C., con RUC: 20489174023.

2.5 Dirección postal

Carretera Fernando Belaunde Terry, km 468, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín.

2.6 Nombre y correo electrónico del personal a cargo

El personal a cargo del proyecto fue el Ing. Ricardo Manuel Limaymanta Ticse, cuyo correo electrónico es rlimaymanta@cssa.com.pe.

CAPÍTULO III:
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

El proyecto de migración del sistema de control basado en PLC y HMI del Horno Vertical N°1 se organizó en distintas fases que permitieron planificar, desarrollar y ejecutar las actividades de forma ordenada.

En la primera fase se ejecutó una verificación del sistema de control existente, el cual comprendió la revisión del funcionamiento actual, la identificación de señales, la evaluación de las conexiones eléctricas, el análisis de las funcionalidades del sistema SCADA y la evaluación del estado operativo de los equipos instalados.

Posteriormente, en la segunda fase, se desarrolló el diseño del nuevo sistema de control. En esta etapa se seleccionó el hardware adecuado incluyendo el PLC, los módulos de entradas y salidas, el módulo de comunicación, la interfaz HMI y la fuente de alimentación. Asimismo, se desarrolló la lógica de control del PLC, las pantallas de la interfaz HMI, configuración de los transmisores de temperatura y la actualización del sistema SCADA existente.

La tercera fase correspondió a la instalación y puesta en marcha del sistema. En esta fase se efectuó al desmontaje del sistema de control anterior, la instalación del nuevo hardware, el conexionado de las señales a los nuevos módulos de entradas y salidas, la configuración de la red industrial y verificación de las señales en el sistema SCADA y la interfaz HMI.

Finalmente, en la cuarta fase, se realizó una validación del correcto funcionamiento del sistema de control, así como la elaboración de los documentos como los planos eléctricos y la elaboración del informe de actividades desarrolladas.

La estructura organizacional del área de mantenimiento, donde se desarrolló

el proyecto, se presenta en la Figura 1. El liderazgo del proyecto estuvo a cargo del Ing. Ricardo Limaymanta, quien coordinó las actividades generales con el área de producción. El programador del taller planificó las actividades y la adquisición de los materiales. Los técnicos eléctricos realizaron el conexionado y apoyaron en las pruebas de campo. Asimismo, el autor del presente trabajo desarrollo el programa del PLC, la interfaz HMI, la configuración de transmisores y la actualización del sistema SCADA.

Los recursos necesarios para la ejecución incluyeron los siguientes equipos y materiales PLC Siemens S7-300, panel HMI KTP900, módulo de comunicación, switch de comunicación, módulos de entrada y salidas, transmisores de temperatura y fuente de alimentación. Además, se utilizó las herramientas de software como Simatic Manager Step 7, TIA Portal V17, Siprom T, Microsoft Excel y AutoCAD.

El cronograma de ejecución del proyecto se estimó en aproximadamente 8 semanas, donde cada fase se ejecutó en distintos intervalos de tiempo. La primera fase se ejecutó en 1 semana, la segunda y tercera fase se ejecutó en 3 semanas y la cuarta fase se ejecutó en 1 semana. En la Figura 2 se muestra el Diagrama de Gantt, donde se detalla la planificación de las actividades del proyecto.



Figura 1 **Organigrama del área de mantenimiento.** Fuente. Adaptado de Intranet de Cementos Pacasmayo*, 2026.*

CEMENTOS SELVA SAC

TÍTULO DEL PROYECTO	MIGRACION DE PLC E INTEGRACION CON SISTEMA SCADA AVEVA EN EL HORNO VERTICAL 1
AREA DE PROYECTO	MANTENIMIENTO
FECHA	sábado, mayo 25, 2024

TAREA IDENTIFICACIÓN	TAREA TÍTULO	DURACIÓN EN DÍAS	FASE UNO					FASE DOS					FASE DOS					FASE DOS					TERCERA FASE					TERCERA FASE					TERCERA FASE					FASE CUATRO				
			SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3					SEMANA 4					SEMANA 5					SEMANA 6					SEMANA 7					SEMANA 8				
			M	T	W	R	F	M	T	W	R	F	M	T	W	R	F	M	T	W	R	F	M	T	W	R	F	M	T	W	R	F	M	T	W	R	F	M	T	W	R	F
1	Levantamiento de Informacion																																								
1.1	Descripcion del funcionamiento del proceso	0.5																																							
1.2	Revision de planos elctricos y flowsheets	0.5																																							
1.3	Backup de SLC/05 y SCADA AVEVA	0.5																																							
1.4	Verificacion de equipos e instrumentos de campo	3.5																																							
2	Desarrollo de Ingenieria																																								
2.1	Seleccion de CPU,CP,HMI y modulos de I/O	0.5																																							
2.2	Dimensionamiento de Fuente de alimentacion	0.25																																							
2.3	Elaboracion de planos electricos	5																																							
2.4	Programacion de PLC SIEMENS	7																																							
2.5	Desarrollo de pantallas en HMI SIEMENS	4																																							
2.6	Actualizacion de SCADA AVEVA	4																																							
3	Comisionamiento y puesta en marcha																																								
3.1	Montaje de equipos en taller electrico	0.5																																							
3.2.1	Verificacion de logica de control	2																																							
3.2.2	Pruebas de comunicación PLC-HMI	2																																							
3.3.1	Cableado de red																																								
3.3.2	Desmontaje y Montaje de PLC y modulos	1																																							
3.3.3	Montaje de panel HMI y transmisores	1																																							
3.3.4	Conexionado de PLC y modulos	4																																							
3.4	Pruebas de comunicación PLC-SCADA AVEVA	1																																							
3.5.1	Verificacion de lazos PID	2																																							
3.5.2	Verificacion de tara y chequeo fisico	1																																							
4	Monitoreo y cierre del proyecto																																								
4.1	Monitoreo de funcionamiento	5																																							
4.2	Entrega de documentos	3																																							
4.3	Envio de backup final	2																																							

Figura 2 **Diagrama de Gantt del proyecto de migración del sistema de control.** Fuente**.** Elaboración propia

3.2 Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1 Finalidad

Contribuir a la mejora de la disponibilidad operativa y la confiabilidad del Horno Vertical N°1 en una planta de cemento, mediante la migración del sistema de control a una solución tecnológica actualizada y robusta.

3.2.2 Objetivos

3.2.2.1 Objetivo general.

Realizar la migración del sistema de control del Horno Vertical N°1 mediante la sustitución del PLC obsoleto por un PLC actualizado y la implementación de un panel HMI, garantizando la funcionalidad operativa del proceso, la confiabilidad del sistema de control y la conectividad con la red industrial existente.

3.2.2.2 Objetivos específicos.

- Seleccionar el PLC adecuado para la migración del sistema de control, considerando la complejidad del proceso, la escalabilidad y la compatibilidad con la arquitectura de red existente.
- Diseñar y desarrollar una interfaz Hombre Máquina que permita el monitoreo de las variables del proceso en un entorno amigable, descriptivo e intuitivo para el operador.
- Optimizar la lógica de control del PLC, mejorando la funcionalidad de los lazos de control PID y reestructurando el programa para facilitar su comprensión, mantenimiento y escalabilidad técnica.

3.3 Problemática

Actualmente, la industria del cemento en el Perú se encuentra conformada por cinco empresas productoras las cuales son UNACEM que cubre a las regiones del centro del país, YURA que opera en el sur del país, Cementos Pacasmayo y Cementos Selva atienden en el norte del país y Cementos Inka, cual abastece a la región central del país. (Apoyo & Asociados, 2024).

Según las estadísticas publicadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el índice del consumo interno del cemento ha mostrado un incremento a mediados del año 2024 y comienzos del año 2025 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2025). Además, se consideró una recuperación progresiva de la demanda del cemento durante el año 2024, considerando estos factores como la presencia de un fenómeno El Niño débil y la activación de los proyectos de inversión (Apoyo & Asociados, 2024). Este escenario evidencio la necesidad de que las empresas del sector mantuvieran condiciones adecuadas de producción y la disponibilidad de sus equipos.

En este contexto, Cementos Selva, única empresa proveedora en la zona nororiental del país y subsidiaria de Cementos Pacasmayo (Apoyo & Asociados Internacionales S.A.C., 2025), enfrentó el desafío de mantener una capacidad de producción adecuada con el fin de responder a las crecientes exigencias del mercado. No obstante, la planta presentó inconvenientes en el proceso de producción de clínker, principalmente relacionados con la confiabilidad y disponibilidad de los equipos involucrados, lo que afecto el desempeño de la producción.

El horno constituye una etapa importante en el proceso de fabricación del cemento, debido a que en este subproceso se desarrollan las principales reacciones químicas necesarias para la formación de clínker (ABB, s. f.). En la planta de Cementos Selva, este proceso se lleva a cabo mediante cuatro hornos verticales. Entre estos equipos, el Horno Vertical 1 presentó frecuentes paradas no programadas que afectaron su disponibilidad operativa y confiabilidad, generando interrupciones en la producción de clinker.

En la Figura 3 se presenta el esquema general del proceso de fabricación del cemento, desde la extracción y preparación de las materias primas hasta la obtención del producto final, destacándose la etapa de clinkerización parte fundamental del proceso productivo. Dentro de esta etapa se encuentra el Horno Vertical 1, cuya disponibilidad resultaba relevante para mantener la continuidad de la producción.

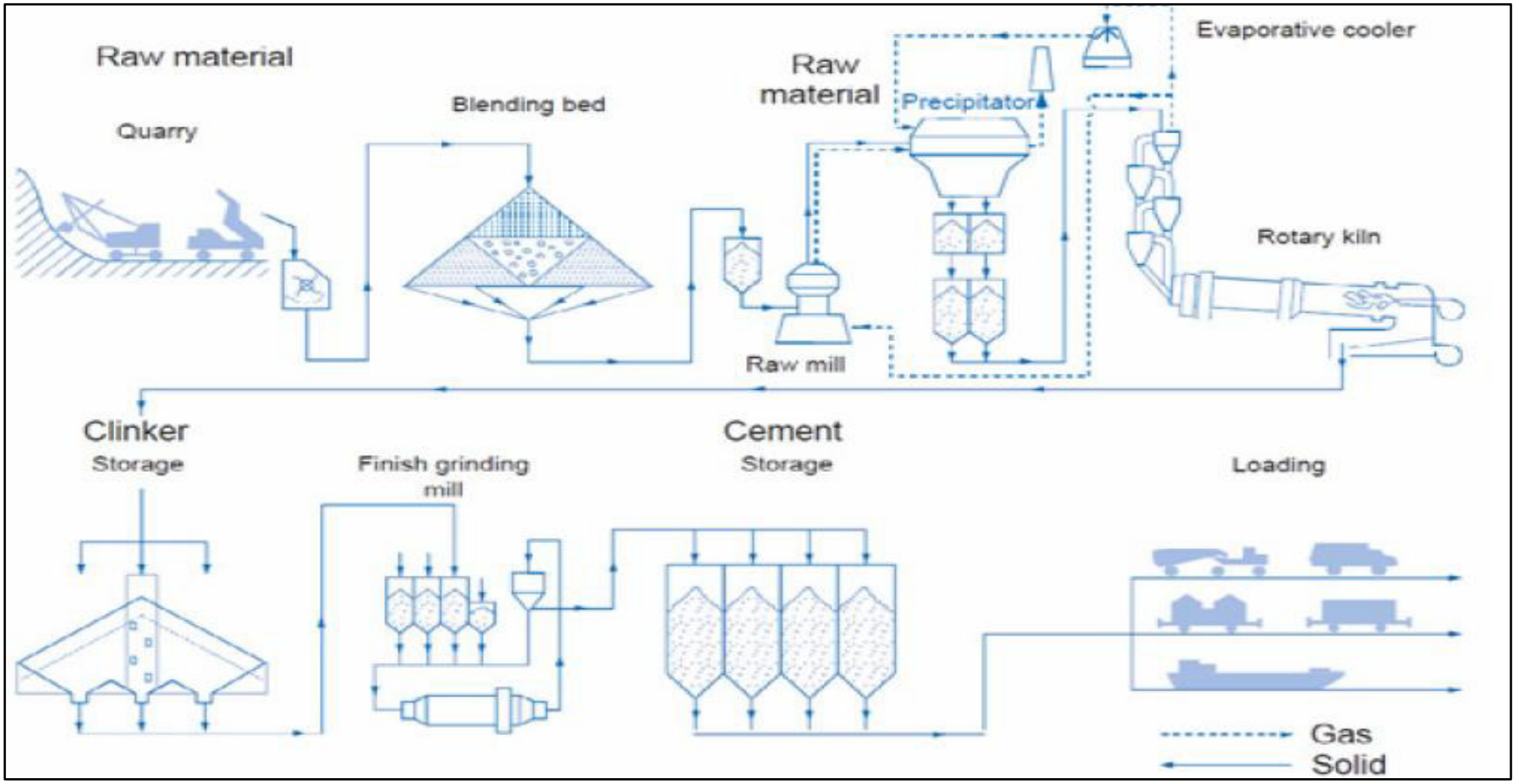


Figura 3 **Proceso de fabricación de cemento.** Fuente. Reproducido de *Alternative fuels for use in cement kilns: Process impact modelling* (p. 414), por K. T. Kaddatz, M. G. Rasul y A. Rahman, 2013, *Procedia Engineering, 56*, 413–420. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.141

El sistema de control del Horno Vertical N°1 estaba basado en un PLC de la marca Allen-Bradley que se comunicaba con un SCADA AVEVA mediante el protocolo serial DH+. Esta arquitectura de red difiere de la utilizada en el resto de la planta, donde se emplean controladores Siemens y una arquitectura de red basada en Ethernet.

Tras un análisis técnico del proceso, se identificó que el controlador lógico programable instalado se encuentra descontinuado, según Rockwell Automation (s. f.), el controlador modelo 1747-L541 dejó de fabricarse a partir del 31 de diciembre de 2021, recomendándose su reemplazo por una versión más actualizada, como se muestra en la Figura 4. Esta condición expone el proceso a riesgos asociados a la pérdida de soporte de hardware y software, dificultad en el suministro de repuestos, pérdidas de programa por falla de memoria, obsolescencia tecnológica y vulnerabilidades de seguridad.

Catalog Number	SLC™ 500 controllers and SLC™ I/O modules Description	Discontinued Date*	Recommended Replacement	CompactLogix™ 5380 controllers and Compact 5000™ I/O modules Description	Replacement Category**
1747-L541	SLC 5/04 16K controller	31-Dec-2021	5069-L306ER	CompactLogix 5380 controller, 600 KB, 8 I/O, 16 nodes, standard	Engineered replacement
1747-L551	SLC 5/05 16K controller	31-Dec-2021	5069-L306ER	CompactLogix 5380 controller, 600 KB, 8 I/O, 16 nodes, standard	Engineered replacement

Figura 4 **Productos SLC descontinuados y migraciones recomendadas.**
Fuente. Reproducido de *SLC Select Catalogs End of Life with Migration Letter* (Rockwell Automation, 2022, p. 1). Copyright 2022 por Rockwell Automation.

Adicionalmente, se verificó en campo que los indicadores de temperatura están obsoletos y son de fabricación no estandarizada, lo cual genera lecturas imprecisas que dificultan la operación del horno. A su vez, no se cuenta con la documentación técnica de estos indicadores, lo que ocasiona una dificultad en la revisión o diagnóstico del equipo ante fallas imprevistas. Asimismo, el sistema SCADA se encuentra desfasado, ya que la información visualizada no corresponde con los equipos e instrumentos actualmente operativos en campo, lo que genera errores de interpretación y retrasos en la toma de decisiones de los operadores.

Por otro lado, se verificó que los lazos de control PID no operan en modo automático, ocasionando demoras de estabilización de las variables del proceso y una respuesta de control poco eficiente, incrementando el riesgo de inestabilidad operativa.

En consecuencia, la combinación de un sistema de control obsoleto, una arquitectura de comunicación no estandarizada, instrumentación desactualizada y una lógica de control deficiente, constituye una problemática técnica que limita la disponibilidad operativa, confiabilidad y eficiencia del Horno Vertical N°1. Esta situación hace necesaria la evaluación, análisis y diseño de un nuevo sistema de control que permita modernizar el proceso, garantizando su integración con la arquitectura de red y la compatibilidad con el sistema SCADA existente.

3.3.1 Problema General

¿De qué manera la actualización del sistema de control, considerando la arquitectura de red existente, permite mejorar la disponibilidad operativa del Horno Vertical N°1 en una planta de cemento ubicado en el departamento de San Martín?

3.3.2 Problemas específicos

- ¿Qué controlador lógico programable (PLC) de la marca Siemens resulta más adecuado para su integración con el sistema SCADA AVEVA y la arquitectura de red del Horno Vertical N°1 de una planta de cemento?
- ¿Qué interfaz hombre maquina (HMI) es la más adecuada para la visualización y supervisión en campo de las variables de proceso del Horno Vertical N°1 de una planta de cemento?
- ¿De qué manera la optimización de la lógica del PLC y los lazos de control PID de flujo de agua y dosificación de material de crudo mejora la estabilidad operativa del Horno Vertical N°1 de una planta de cemento?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

Este trabajo de suficiencia profesional se justifica por la necesidad de mejorar la disponibilidad operativa del Horno Vertical N°1 en la empresa Cementos Selva S.A.C., el cual presenta fallas intermitentes que afectan la productividad del proceso. Mediante la migración del hardware y software del sistema de control, se busca garantizar la confiabilidad y la continuidad operativa del proceso productivo.

Adicionalmente, este proyecto permitirá estandarizar la tecnología utilizada en planta, integrando el sistema de control a una arquitectura de red basada en Ethernet Industrial, lo que facilitará el avance hacia unos mayores niveles de automatización y modernización de los procesos industriales.

Desde el punto de vista productivo, la ejecución de este proyecto de mejora permitirá incrementar la producción de clínker, optimizando la eficiencia del proceso y contribuyendo al cumplimiento del programa anual de producción.

Finalmente, desde el ámbito académico y profesional, la implementación de este proyecto de mejora permite aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación de la carrera en Ingeniería Electrónica, demostrando el desarrollo de competencias técnicas en programación de PLC, control industrial e instrumentación industrial.

3.4 Metodología

La metodología utilizada en este proyecto de mejora se desarrolló bajo un enfoque de ingeniería aplicada, teniendo como alcance la migración del sistema de control del Horno Vertical N°1. En esta metodología se evaluó el funcionamiento del sistema de control existente, se verificó la arquitectura de hardware, se consideraron las herramientas de software utilizadas en la operación y se diseñó la solución de migración del sistema de control que permitiera garantizar la continuidad operativa del proceso, reducir las paradas imprevistas debido a fallas en PLC y lograr la integración a la red industrial existente en planta. Finalmente, se realizaron las pruebas de funcionamiento y verificación de la comunicación entre los equipos de control y supervisión, con el propósito de validar el correcto funcionamiento del sistema migrado y asegurar su disponibilidad operativa del horno.

3.4.1 Bases Teóricas

3.4.1.1 Automatización en horno verticales

En una planta de cemento de tipo Portland, la clinkerización es la etapa más importante del proceso productivo, debido a que esta determina la calidad y rendimiento del cemento. En esta etapa, se dosifican las materias primas al interior del horno donde se somete a un proceso térmico formando las fases minerales del clínker, las cuales definen las propiedades mecánicas del cemento (Abdul et al., 2025).

Este proceso térmico está conformado por dos etapas importantes: la calcinación y la sinterización. La calcinación consiste en la descomposición química de CaCO3 (piedra caliza) en CaO (cal) y CO2, el cual ocurre a una temperatura de aproximadamente 900 °C. Luego tiene lugar la etapa de sinterización, el cual es la reacción del CaO (cal) con sílice, alúmina y óxidos ferrosos para formar los componentes minerales del clínker, esta etapa se desarrolla a temperaturas que oscilan entre 1450 °C y 1510 °C (Wolde et al., 2024).

Es por ello que un horno eficiente debe mantener una distribución de temperatura uniforme en todas las zonas de operación, las cuales incluyen la zona de precalentamiento, la zona de combustión y la zona de enfriamiento. Esta uniformidad de temperatura garantiza un procesamiento adecuado del material y permite optimizar el consumo energético del sistema (Okonkwo & Adefila, 2012).

En este contexto para obtener el rendimiento deseado en el horno es necesario contar con un óptimo sistema de control e instrumentación. Este sistema debe incluir indicadores de presión de aire y temperatura, así como controladores programables que permitan el monitoreo y control del proceso de clinkerización (Okonkwo & Adefila, 2012).

Asimismo, la dosificación de crudo y la granulometría de pellets influye en el comportamiento del horno. Una distribución inadecuada de los pellets puede generar canales por donde el aire escapa preferencialmente, ocasionando un sobrecalentamiento de ciertas zonas del refractario del horno, la reducción de su vida útil y un mayor consumo de combustible (Anselm, 1954).

3.4.1.2 Controlador Lógico Programable

Un controlador lógico programable (PLC) es un controlador basado en microprocesador, diseñado para automatizar procesos físicos en infraestructuras críticas y entornos industriales. Su ciclo de funcionamiento inicia con la adquisición de datos de entrada provenientes de dispositivos de campo, como sensores e instrumentos de medición, seguido de la ejecución de la lógica de control para el cálculo de las salidas y finaliza con el envío de comandos en forma de señales digitales y analógicas hacia los actuadores como válvulas, motores eléctricos, variadores de frecuencia y arrancadores suaves (Awad et al., 2023).

La arquitectura básica de un controlador lógico programable está conformada por una fuente de alimentación, la cual es la unidad que suministra la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del equipo. Además, cuenta con una CPU, que contiene el microprocesador responsable de realizar las funciones lógicas y ejecutar los cálculos requeridos. Asimismo, el PLC contiene módulos de entrada y salida, los cuales permiten conectar la CPU con los dispositivos de campo. Estos módulos pueden ser digitales o analógicos. Finalmente, incluye una memoria destinada para el almacenamiento del programa y la configuración del PLC (Awad et al., 2023).

Los PLC se aplican en distintas industrias, entre ellas la industria del cemento, donde desempeñan un rol importante en el proceso. Su implementación es fundamental para el control preciso en la dosificación, transporte y mezcla de diversas materias primas como caliza, arcilla, hierro, yeso y otros compuestos, las cuales son procesadas en las etapas de molienda y clinkerización. El uso del PLC garantiza la correcta dosificación de los insumos requeridos, logrando como resultado un producto final de calidad (PLC Technician, 2018).

La confiabilidad general de un PLC está conformada por distintos indicadores fundamentales, los cuales son la testabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y el mantenimiento. La testabilidad se define como la facilidad con la que se puede comprobar el correcto funcionamiento de un sistema o componente con la precisión necesaria. Por su parte, la disponibilidad se refiere a la capacidad del sistema para estar operativo y funcionando

correctamente cuando se requiere. Por otro lado, la mantenibilidad es una característica de diseño orientada a minimizar el tiempo necesario para reparar o restablecer un equipo ante una falla. Finalmente, el mantenimiento involucra el conjunto de actividades destinadas a conservar o reparar el equipo (Obele, Aikhuele & Nwosu, 2024, p. 10).

3.4.1.3 Obsolescencia tecnológica en la industria

La obsolescencia tecnológica se refiere cuando los recursos tecnológicos dejan de ser eficientes o adecuados como consecuencia de los avances tecnológicos. Esto se manifiesta en el hardware, cuando los dispositivos pierden sus capacidades de soportar nuevas funciones o demandas operativas. En el ámbito del software se presenta cuando las versiones antiguas dejan de recibir actualizaciones y presentan problemas de compatibilidad y riesgos de seguridad (B-Secure, s. f.).

De manera complementaria, la obsolescencia tecnológica se entiende como la etapa donde un equipo tecnológico deja de ser eficiente y confiable para cumplir de manera adecuada las funciones y demandas operativas requeridas por el sistema (AGV Robotics, s. f.).

En el campo de la automatización industrial, la obsolescencia tecnológica está estrechamente relacionada con el ciclo de vida útil de los equipos. El ciclo de vida útil se define como el conjunto de etapas que va desde su introducción al mercado hasta su descatalogación, donde se deja de recibir soporte y fabricación de repuesto. En este contexto, los componentes como PLC, panel HMI, módulos de entrada y salida, dispositivos de red industrial y dispositivos de seguridad forman parte de este ciclo de vida útil (CJS Automation, s. f.).

Desde el panorama de los fabricantes, Siemens estructura el ciclo de vida útil de sus productos en cinco fases definidas como Lanzamiento activo, Descatalogación, Cancelación, Descontinuación y Fin del ciclo de vida útil. (Siemens AG, 2014). Por su parte, Rockwell Automation define el ciclo de vida útil de sus productos en cuatro etapas las cuales son: Activo, Activo maduro, Fin de vida útil y Descontinuado. Esta clasificación es importante para la planificación de estrategia de mantenimiento, migración tecnológica y adquisición de repuestos (Rockwell Automation, s. f.).

3.4.1.4 Migración de sistema de control con PLC

La migración de un sistema de control se define como el proceso mediante el cual se actualizan, reemplazan o mejoran equipos y sistemas existentes por tecnologías más actuales. Este proceso involucra la modernización del hardware, la actualización del software y la renovación de las redes de comunicación ya sea por avances tecnológicos o ineficiencias operativas del sistema. Su finalidad es garantizar la continuidad operativa, la integridad y seguridad de los procesos industriales (Roessler, 2013).

La migración de los sistemas de control nos otorga múltiples beneficios, entre los cuales destaca la mejora del rendimiento y aumento de la productividad (Siemens AG, s. f.), ya que los PLC modernos cuentan con procesadores más potentes y rápidos, así como buses de entrada y salida de mayor velocidad, esto con lleva a tener una mejor capacidad de procesamiento y respuesta del sistema de control (Qualitrol International, s. f.).

Asimismo, la actualización tecnológica facilita el mantenimiento y la obtención de refracciones, garantizando la disponibilidad de repuestos por un periodo extendido de años, asegurando la continuidad operativa. Además, nos permite prescindir de componentes costosos y difíciles de adquirir pertenecientes al sistema de control anterior (Siemens AG, s. f.).

De igual forma, la transición a controladores de últimas versiones asegura un soporte técnico integral tanto de hardware como de software. Al contar con herramientas de diagnóstico más avanzadas, el equipo de mantenimiento puede identificar y solucionar fallas con mayor precisión y rapidez, reduciendo los tiempos de parada ante cualquier eventualidad (Qualitrol International, s. f.).

Finalmente, esta migración mejora la conectividad y la digitalización, debido a que los nuevos controladores lógicos programables se conectan con mayor facilidad a otros sistemas de control de planta mediante el uso de protocolos de comunicación estandarizados como Ethernet/IP y Profinet. Además, esta arquitectura de control no solo permite la comunicación entre controladores, sino que permite la integración con sistemas de gestión de datos, lo que hace posible monitorear el proceso en tiempo real. (Qualitrol International, s. f.).

3.4.1.5 Sistemas HMI y SCADA en procesos industriales

El Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) es una tecnología que involucra software y hardware, diseñada para supervisar y controlar procesos industriales en tiempo real de manera remota y centralizada (Mittal, 2023).

Un sistema SCADA está conformado por diversos componentes entre los cuales se incluyen los dispositivos de instrumentación de campo, las Unidades Terminales Remotas, las Unidades Terminales Maestras y los canales de comunicación, los cuales permiten la transmisión de la información entre los distintos niveles del sistema (Pérez-López, 2015).

Un sistema SCADA se caracteriza por su capacidad de adquirir, procesar y almacenar datos de una manera continua y confiable. Asimismo, permite la representación gráfica de las variables de proceso, brindando al usuario una supervisión clara e intuitiva (Pérez-López, 2015).

A su vez, el sistema SCADA posibilita la ejecución de acciones de control, actuando sobre el proceso mediante los accionamientos finales. De forma complementaria, cuenta con funciones de gestión de alarmas y detección de condiciones anormales de operación, contribuyendo a una respuesta oportuna ante las desviaciones del proceso (Pérez-López, 2015).

Finalmente, estos sistemas funcionan con una arquitectura abierta y flexible, lo que permite la integración de nuevos requerimientos operativos. Además, ofrecen una adecuada conectividad con los equipos de campo y con otros sistemas de gestión de datos. La información almacenada puede ser utilizada para la gestión de la calidad, la gestión de la producción, el control estadístico y el apoyo en procesos administrativos (Pérez-López, 2015).

3.4.1.6 Arquitecturas de comunicación industrial

Las redes industriales son arquitecturas diseñadas para la transmisión de datos en tiempo real a través de todos los niveles de automatización, permitiendo la supervisión y el control del proceso (Pardo Chamorro et al., n.d.). Las redes industriales conectan equipos y facilitan la interoperabilidad de datos entre sistemas de producción, oficina, seguridad, así como entre centros de datos y la nube (Huawei Technologies Co., Ltd. et al., 2024).

En las comunicaciones industriales existen dos áreas principales, la primera es la comunicación a nivel de campo, la cual conecta los dispositivos físicos con los controladores; su objetivo es la transmisión de señales de entrada y salida, así como los comandos de control en tiempo real. Por otro lado, se encuentra la comunicación a nivel de supervisión, la cual vincula los controladores lógicos programables con los sistemas de supervisión y adquisición de datos y las interfaces hombre-máquina. Este nivel tiene como finalidad el monitoreo del proceso, la creación de históricos, la gestión de alarmas y las consignas de operación (Hurtado, n.d.).

Las comunicaciones industriales desempeñan un rol importante en la automatización de proceso. En este ámbito se destacan dos tecnologías las cuales son la comunicación serial y la comunicación basada en Ethernet. La comunicación serial es un método donde la transmisión de datos se envía secuencialmente bit a bit mediante un solo canal. Se caracteriza por ser una tecnología simple y confiable; sin embargo, tiene limitaciones en velocidad, distancia y flexibilidad de topología. Por otro lado, la comunicación basada en Ethernet utiliza el protocolo TCP/IP para la transmisión de datos en red, lo que permite una conectividad más rápida y flexible. Esta tecnología ofrece una mayor velocidad de transmisión, mayor flexibilidad en la topología y facilita la integración con sistemas de tecnología de la información (Guerrero et al., 2009).

La estandarización de una red industrial permite el intercambio de información de manera eficiente entre sistemas de control independientes, contribuyendo a la productividad, la eficiencia operativa y la seguridad. En este contexto, el uso de redes basadas en Ethernet se ha consolidado como una solución adoptada en la automatización industrial. Esta arquitectura permite la interoperabilidad total entre PLC, sensores y actuadores de diferentes fabricantes facilitando la puesta en marcha rápida; contar con una infraestructura estandarizada reduce los tiempos de configuración e integración de equipos. Además, incrementa la seguridad al eliminar protocolos inseguros y sistemas operativos obsoletos, brindando una base robusta para el desarrollo de soluciones IoT (Rockwell Automation, 2022).

3.4.1.7 Control PID en la dosificación de material

El sistema de pesaje dinámico es una maquina industrial automatizada que permite monitorear de forma continua el peso del material mientras se desplaza (Moncayo, 2010).

En la industria del pesaje se distinguen dos tipos de sistemas de pesaje dinámico. Aquellos cuya área de pesaje se encuentra sobre una banda transportadora flexible, y aquellos que tienen su área de pesaje rígida e independiente. La principal diferencia se encuentra en que, al operar sobre una banda continua, el sistema registra componentes de carga en secciones anteriores y posteriores a la báscula (Baldenebro López, 2015).

En la industria de la minería, las balanzas dinámicas se utilizan para el control de la dosificación de la materia prima. Estos sistemas permiten monitorear en tiempo real la correcta alimentación del material, lo que contribuye a garantizar la calidad del producto final. Asimismo, facilitan el registro del material utilizado en el proceso (Enrique, 2015).

La aplicación de un control PID en balanzas dinámicas ofrece importantes beneficios en la dosificación de material. Entre las cuales se encuentra la eliminación de error residual, lo que permite que el valor medido coincida con el peso real; esto asegura que los procesos posteriores (como hornos o molinos) reciban la cantidad exacta de material, mejorando la homogeneidad del producto final; la estabilidad ante perturbaciones, manteniendo la exactitud de la medición incluso frente a variaciones en el proceso; y la reducción del tiempo de estabilización, permitiendo que la señal de flujo de material alcance condiciones estables en un menor tiempo (Interpesaje, s.f.).

3.4.2 Marco conceptual

Clinkerización

Proceso térmico que se lleva a cabo en la elaboración del cemento Portland en el cual las materias primas son sometidas a altas temperaturas dentro del horno, formando las fases minerales del clínker que determinan las propiedades mecánicas del producto final.

Calcinación

Etapa del proceso de clinkerización donde el carbonato de calcio ($CaCO_3$) se descompone en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2) a temperaturas cercanas a los 900 °C.

Sinterización

Fase del proceso térmico en la cual el óxido de calcio (CaO) reacciona con sílice, alúmina y óxidos de hierro a temperaturas superiores de los 1400 °C, formando compuestos minerales de clínker.

Horno Vertical

Equipo industrial utilizado para la producción de clínker, donde los materiales son sometidos a un proceso térmico controlado por la inyección de aire en distintas zonas de operación.

Controlador Lógico Programable

Dispositivo electrónico basado en un microprocesador utilizado para automatizar procesos industriales, mediante la adquisición de señales provenientes de los instrumentos de campo, la ejecución de la lógica de control y la generación de señales de salida hacia los actuadores.

Sistema SCADA

Sistema de supervisión, control y adquisición de datos que permite monitorear y controlar procesos reales en tiempo real, integrando información proveniente de campo como los PLC.

Interfaz Hombre Máquina

Sistema que permite la interacción entre el operador y el proceso industrial, permitiendo la visualización de variables, alarmas y la ejecución de acciones de control. Facilita la supervisión y operación del proceso desde una interfaz gráfica, proporcionando información del sistema en tiempo real.

Obsolescencia tecnológica

Condición donde un equipo o sistema deja de ser eficiente, confiable o compatible frente a los nuevos avances tecnológicos, afectando su rendimiento dentro del proceso industrial.

Ciclo de vida útil

Conjunto de etapas por la cual atraviesa un equipo o sistema tecnológico desde su introducción hasta su descontinuación.

Migración de sistema de control

Proceso donde se actualizan, reemplazan o modernizan un sistema de control existente por tecnologías más actuales, incluyendo el hardware, el software y las redes de comunicación.

Red Industrial

Infraestructura de comunicación que permite la conectividad entre los PLC, HMI y SCADA, facilitando el intercambio de información en tiempo real.

Ethernet Industrial

Tecnología de comunicación basada en el estándar Ethernet, adaptada para su aplicación en sistemas de automatización y control industrial. Permie la transmisión de datos en tiempo real con alta velocidad y fiabilidad, facilitando la comunicación entre PLC, HMI, sistemas SCADA y equipos de campo.

Disponibilidad operativa

Capacidad de un sistema o equipo para funcionar cuando sea requerido, considerando factores como confiabilidad, mantenimiento y tiempos de inactividad.

Sistema de pesaje dinámico

Equipo industrial que permite medir de forma continua el flujo de material mientras está en movimiento, generalmente sobre una banda transportadora.

Dosificación de material

Proceso mediante el cual se controla el flujo de la materia prima que ingresa a un sistema, garantizando una alimentación uniforme y controlada.

Control PID

Estrategia de control basada en las acciones proporcionales, integrales y derivativas, utilizadas para regular una variable de proceso mediante la corrección continua del error entre el valor medido y el valor requerido.

3.5 Procedimiento

El siguiente procedimiento describe las etapas desarrolladas en la migración del sistema de control del Horno Vertical N°1, incluyendo el levantamiento de información del sistema existente, el análisis de la lógica de control, el diseño de la arquitectura de control, el desarrollo de la lógica de control, la implementación del nuevo sistema de control, la puesta en marcha del sistema de control y el monitoreo del funcionamiento.

ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

- ✓ **Funcionamiento del proceso**

El sistema de control del Horno Vertical N°1 tiene como función principal la dosificación del material crudo y agua hacia el horno. Su diseño se basa en la implementación de dos lazos de control PID, encargados de controlar cada variable de proceso. Asimismo, el sistema gestiona la secuencia de arranque y parada de los equipos involucrados en el transporte de material.

El sistema de control opera con una dosificación de material de crudo en un rango de 5 a 8 t/h. Además, el sistema de control incorpora funciones importantes, entre los cuales se incluye los procedimientos de tara y calibración de la balanza, la visualización del estado de equipos, el monitoreo de las tendencias de flujo, la configuración de los parámetros de la balanza de crudo y el ajuste de los parámetros de control PID para el flujo de crudo y agua.

Control de Flujo de Crudo

En el proceso de dosificación de material de crudo, se emplea un lazo de control PID para regular el flujo de alimentación desde la tolva de crudo hacia el horno. La medición de la variable de proceso se lleva a cabo mediante una balanza dinámica equipada con una celda de carga, que permite determinar el peso del material en movimiento y calcula el flujo de material. La variable manipulada es la velocidad del alimentador, la cual es controlada por un variador de frecuencia con el fin de mantener el flujo en el valor de consigna. Adicionalmente, la tolva de crudo cuenta con un sistema de fluidificación para mejorar la fluidez del material hacia la balanza.

Control de Flujo de Agua

El control de flujo de agua se realiza mediante un lazo de control PID para regular el caudal suministrado en el proceso. La variable manipulada es la apertura de una válvula de control modulante, mientras que la variable de proceso es obtenida mediante un flujómetro de tipo electromagnético.

Secuencia de arranque y parada de motores

El sistema de control gestiona el arranque y parada secuencial de los equipos, entre los que se incluyen el tornillo de descarga, el elevador de crudo, la mezcladora, el disco de pellets y la faja de pellets, la faja de balanza y el alimentador de la balanza. Estos componentes operan de forma coordinada, garantizando un flujo continuo del material.

- ✓ **Equipamiento del proceso**

Se presenta en la Tabla1 los equipos involucrados en el proceso del Horno Vertical N°1.

Tabla 1 **Equipos operativos en el Horno Vertical N°1**

Código	Descripción	Tipo	Driver
480235	Tornillo de crudo	Motor	Directo
480240	Elevador de crudo	Motor	Directo
480290	Mezcladora	Motor	Variador AC
480295	Disco peletizadora	Motor	Variador AC
480305	Faja de pellets	Motor	Directo
480185	Feeder de balanza	Motor	Variador AC
480190	Faja de balanza	Motor	Directo
480385	Vibrador de descarga	Motor	Directo
480175	Tolva de crudo	Equipo	-
480310	Horno Vertical N°1	Equipo	-
480255	Filtro principal	Equipo	-
480370	Eje Vertical de descarga	Motor	Reversible

Fuente. Propia.

- ✓ **Instrumentación instalada**

En la Tabla 2 se presentan los instrumentos utilizados en el proceso de clinkerización del Horno Vertical N°1.

Tabla 2 **Instrumentos instalados en el Horno Vertical N°1**

Tag	Descripción	Detalle	Cantidad
480190_WG	Transmisor de peso	Medición de flujo de material.	1
480290_F1	Flujómetro de agua	Medición de flujo de agua.	1
480175_CV1	Válvula reguladora	Regulador de flujo de agua.	1
480175_SV1	Válvula solenoide	Sistema de fluidificación anillo superior de la tolva.	1
480175_SV2	Válvula solenoide	Sistema de fluidificación anillo inferior de la tolva.	1
480395_P1	Transmisor de presión	Medición de presión principal en Blower.	1
480395_P2	Transmisor de presión	Medición de presión secundaria en anillo.	1
480310_T13	Transmisor de temperatura	Medición de temperatura de gases lado A.	1
480310_T14	Transmisor de temperatura	Medición de temperatura de gases lado B.	1
480255_T1	Transmisor de temperatura	Medición de temperatura ingreso Filtro principal	1
480185_SP	Variador de velocidad	Variador de velocidad de feeder.	1
	Indicador de temperatura	Indicadores de temperatura del Horno	12

Fuente. Elaboración Propia

- ✓ **Arquitectura del PLC existente**

El sistema de control contaba con la tecnología de la marca Allen Bradley, gobernado por el SLC 5/04 y sus respectivos módulos de entradas y salidas. En la Figura 5 se presenta la arquitectura de control existente.



Figura 5 **Controlador lógico programable SLC500.** Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 3 se presenta los componentes existentes del PLC Allen Bradley.

Tabla 3 **Equipos del proceso Horno Vertical N°1**

Modelo	Descripción	Cantidad
SLC 5/04 CPU	Controlador lógico programable	1
1746-NI4	Entrada analógica 4 X 4-20mA	1
1746 N04I	Salida analógica 4 X 4-20mA	1
1746-N04V	Salida analógica 4 X 0-10v	1
1746-IA16	Entradas digitales 16 X 110VAC	2
1746-OW16	Salidas digitales 16 X RLY 240VAC	1

Fuente. Elaboración propia

- ✓ **Funcionamiento de la lógica de control**

La lógica de control existente fue desarrollada en un único bloque, específicamente en el bloque principal (Main), concentrando toda la lógica de operación del sistema. Este bloque está conformado por 81 líneas de instrucciones, las cuales incluyen comentarios descriptivos que detallan las funciones ejecutadas en el proceso, facilitando su comprensión y análisis.

Las señales de entrada y salida utilizan etiquetas simbólicas, lo que permite una identificación clara de los equipos, así como una mayor facilidad en la depuración del programa y el seguimiento de la lógica de control.

Considerando el análisis realizado al programa del PLC, se identificó que la lógica de control se ha estructurado mediante etapas funcionales. Estas etapas se encuentran conformadas por el sistema de fluidificación de la tolva de crudo, la secuencia de arranque, el procedimiento de tara de la balanza, el cálculo de flujo de material, el cálculo de flujo de agua, el control PID de flujo de material y el control PID del flujo de agua.

- ✓ **Arquitectura de comunicación**

En la Figura 6 se muestra la arquitectura de comunicación, la cual está conformada por un controlador SLC 500 y una PC Station que ejecuta el software SCADA AVEVA Edge. Cabe destacar que esta PC cuenta con una tarjeta de conversión de protocolo (Gateway), encargada de realizar la comunicación entre el protocolo DH (Data Highway) y Ethernet, permitiendo la integración entre el sistema de control y la interfaz SCADA.

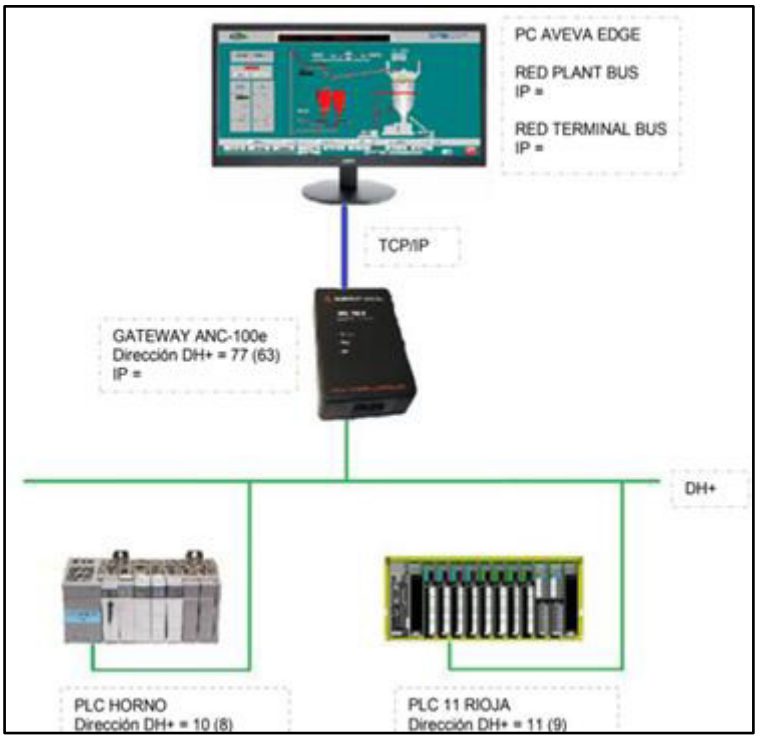


Figura 6 **Arquitectura de comunicación con SLC500.** Fuente. Elaboración propia

- ✓ **Sistema SCADA**

El sistema SCADA ha sido desarrollado en el entorno AVEVA Edge, el cual proporciona una interfaz para la supervisión y control del proceso. Permite gestionar la alimentación y dosificación de crudo, monitorear tendencias de flujo de crudo y agua, y supervisar el estado operativo de los equipos. Adicionalmente, permite realizar el procedimiento de calibración de la balanza y la configuración de parámetros PID de los lazos de control para optimizar el proceso.

DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

- ✓ **Esquema general del sistema de control**

En el nuevo sistema de control se contempla el reemplazo del controlador lógico programable (PLC), junto con sus respectivos módulos de entradas y salidas y tarjetas de comunicación, migrando la plataforma existente de Allen Bradley hacia una solución basada en la tecnología Siemens.

Asimismo, se llevó a cabo la sustitución del tablero de indicadores de temperatura modelo NOVUS N1500 mediante la instalación de nuevos transmisores de temperatura de modelo TR200.

Como parte de la modernización del sistema, se desarrolló una nueva interfaz de operación (HMI), diseñada para facilitar la visualización en tiempo real de las principales variables del proceso, así como optimizar la interacción del operador con el sistema en campo. Los demás equipos del proceso, como motores, válvulas, variadores de frecuencia, transmisores de presión y transmisores de flujo, se mantuvieron sin modificaciones, garantizando la continuidad operativa.

- ✓ **Consideraciones para la migración**

Para la selección del nuevo sistema de control se consideraron diversos aspectos técnicos y operativos del sistema existente. Entre las principales condiciones evaluadas se encuentran el funcionamiento del sistema de control anterior, la instrumentación instalada en campo, el número y tipo de señales de entrada y salida utilizadas, así como la cantidad de variables gestionadas desde la interfaz HMI/SCADA.

Adicionalmente, se tomó en cuenta el protocolo de comunicación compatible con el sistema SCADA basado en AVEVA Egde, así como la disponibilidad de repuestos a nivel local dentro de la empresa, con la finalidad de garantizar mantenibilidad y sostenibilidad del sistema en el tiempo.

- ✓ **Dimensionamiento del PLC**

Para la selección del nuevo PLC se consideró algunos aspectos técnicos como la memoria utilizada, complejidad del proceso, número de entradas y salidas utilizadas, redundancia, escalabilidad, comunicación y contabilidad con otros sistemas.

- ➢ **Capacidad de memoria**

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del PLC Allen-Bradley SLC 5/04 con número de parte 1747-L51, mostradas en la Figura 7, el procesador cuenta con una capacidad de memoria de 16K Words. Al realizar la copia de respaldo del PLC, se verifico que el programa utiliza 625 instrucciones Word y 718 Data Table Word.

Processor General Specifications

The table below lists general specifications for SLC 500 modular processors.

Attribute (1747-)	SLC 5/01		SLC 5/02	SLC 5/03			SLC 5/04			SLC 5/05		
	L511	L514	L524	L531	L532	L533	L541	L542	L543	L551	L552	L553
Program memory (words)	1 K	4 K	4 K	8 K	16 K	32 K	16 K	32 K	64 K	16 K	32 K	64 K
I/O capacity	3940 discrete		4096 discrete									
Remote I/O capacity	Not applicable		Processor memory and chassis power limit up to 4096 inputs and 4096 outputs									
Chassis/slots, max	3 Chassis/30 Slots of I/O											
Standard RAM	Capacitor - 2 weeks[2] optional lithium battery - 5 years Lithium battery 2 years Capacitor - 30 minutes minimum											
Memory back-up options	EEPROM			Flash EPROM								
Status indicators	Run CPU Fault Forced I/O Battery Low		Run CPU Fault Forced I/O Battery Low COMM	Run CPU Fault Forced I/O Battery Low RS-232 DH-485			Run CPU Fault Forced I/O Battery Low RS-232 DH+			Run CPU Fault Forced I/O Battery Low RS-232 Ethernet		
Power supply loading	90 mA at 5V dc			500 mA at 5V dc			1A at 5V dc			1A at 5V dc		
	0 mA at 24V dc			175 mA at 24V dc			0 mA at 24V dc[4]			0 mA at 24V dc		
Clock/calendar accuracy[1]	Not applicable			±54 sec./month at 25 °C (77 °F); ±81 sec./month at 60 °C (140 °F)								
Program scan hold-up time after loss of power	20 ms...3 s (dependent on power supply loading)											
Noise immunity	NEMA Standard ICS 2-230											
Temperature rating	operating: 0 °C...60 °C (32 °F...140°F); storage: -40 °C...85 °C (-40 °F...185 °F)											
Humidity	5 to 95% without condensation											
Shock, operating	30 g											
Vibration	Displacement:.015 in., peak-to-peak at 5...57 Hz											
	Acceleration: 2.5 g at 57...2000 Hz											

Figura 7 **Especificaciones técnicas PLC Allen-Bradley.** Fuente. Elaboración Propia

- **Complejidad del proceso**

El proceso del Horno Vertical N°1 no se considerado de alta complejidad, debido a que maneja aproximadamente 40 variables de proceso entre señales discretas y analógicas, cuenta con solo 2 lazos de control PID y no establece comunicación con otros PLC ni con otras periferias externas.

- **Número de entradas y salidas**

En la tabla 4 muestra el número de entradas y salidas utilizadas en el proceso.

Tabla 4 **Cantidad de entradas y salidas de PLC Allen-Bradley**

Tipo de módulo	Totales	Utilizados
Entrada digital	32	17
Salida digital	16	13
Entrada analógica	4	3
Salida analógica	4	3

Fuente. Elaboración Propia

- **Redundancia**

En el proceso del Horno Vertical N°1 no se cuenta con redundancia a nivel de PLC ni de los módulos de entrada y salidas. La planta dispone de cuatro hornos verticales que permiten contar con una alternativa operativa en caso de que la continuidad operativa de algún horno sea interrumpida, se procede a poner en operación otro horno para mantener la producción de clínker.

- **Escalabilidad**

El proceso del Horno Vertical N°1 utiliza 36 señales digitales de entrada y salida. En la migración se agregaron señales de temperatura de anillo superior e inferior, además de considerar reservas para futuras integraciones otros equipos. Por ello, el PLC seleccionado debe contar con capacidad de escalabilidad.

- **Comunicación**

El PLC debe comunicarse con el sistema SCADA AVEVA y la red existente en planta, considerando la instalación de un nuevo panel HMI en campo para la visualización del proceso en tiempo real.

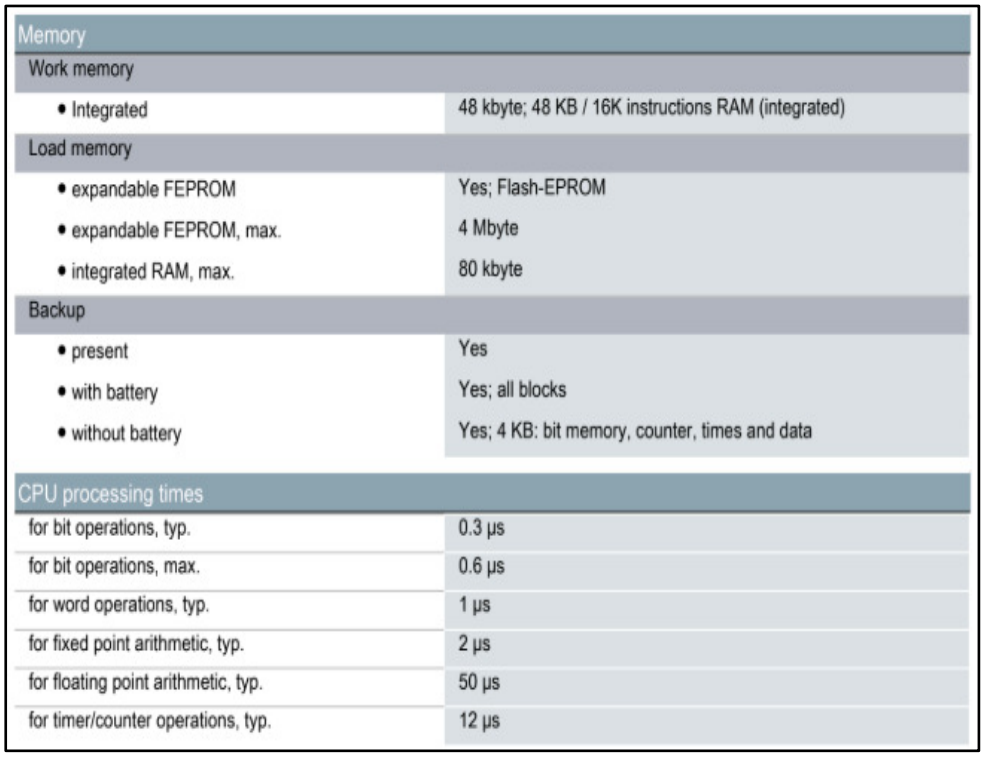
➢ **Compatibilidad**

Considerando que la planta utiliza tecnología Siemens, se propone implementar una solución basada en un PLC de la misma marca para estandarizar la comunicación y facilitar el mantenimiento, la integración y la operación. Asimismo, el PLC debe ser compatible con el sistema SCADA AVEVA.

Se ejecutaron las pruebas de comunicación entre los controladores lógicos programables de marca Siemens (S7-300 / S7-1200 / S7-400) con el sistema SCADA AVEVA y obtuvimos como resultado que todos los modelos de PLC Siemens son compatibles con el SCADA AVEVA utilizando el driver SIETH.

Teniendo en cuenta los requerimientos técnicos se realizó una evaluación del catálogo de controladores programables de SIEMENS y determinamos como solución para este proyecto el PLC S7-300.

Tal como se observa en la Figura 8, el PLC Siemens CPU 315 dispone de diferentes tipos de memoria y capacidades de almacenamiento.



Memory	
Work memory	
• Integrated	48 kbyte; 48 KB / 16K instructions RAM (integrated)
Load memory	
• expandable FEPROM	Yes; Flash-EPROM
• expandable FEPROM, max.	4 Mbyte
• integrated RAM, max.	80 kbyte
Backup	
• present	Yes
• with battery	Yes; all blocks
• without battery	Yes; 4 KB: bit memory, counter, times and data
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.3 µs
for bit operations, max.	0.6 µs
for word operations, typ.	1 µs
for fixed point arithmetic, typ.	2 µs
for floating point arithmetic, typ.	50 µs
for timer/counter operations, typ.	12 µs

Figura 8 **Especificaciones técnicas PLC Siemens.** Fuente. Adaptado de *SIMATIC S7-300 CPU 31xC y CPU 31x, Datos técnicos: Manual de producto* (p. 1), por Siemens, 2008, SiePortal (siemens.com). Derechos de autor 2008 por Siemens AG.

- ✓ **Dimensionamiento de los módulos de entrada y salida**

En el levantamiento del sistema de control anterior, se verificó la cantidad de señales de entrada y salida utilizadas en el proceso. Considerando la incorporación de 12 entradas analógicas por transmisores de temperatura y 4 entradas analógicas adicionales del filtro de mangas, se determinó el nuevo requerimiento de entradas y salidas del sistema de control, el cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 **Cantidad de entradas y salidas en PLC Siemens**

Tipo de módulo	Totales	Utilizados
Entrada digital	32	17
Salida digital	16	13
Entrada analógica	24	19
Salida analógica	8	3

Fuente. Elaboración Propia

Se realizó una evaluación a detalle para cada tipo de módulo según la conexión eléctrica instalada y los instrumentos de campo existentes.

Módulo de entras digitales: 6ES7 321-1BH02-0AA0 - DI 16X24VDC

Se decidió utilizar módulos de entrada de continua (24VDC) debido a que este tipo de señal ofrece una mayor inmunidad al ruido electromagnético en comparación con las señales de corriente alterna. Por esta razón, se modificó el circuito de conexión existente de 110VAC a 24VDC.

Módulo de salidas digitales: 6ES7 322-1HH01-0AA0 - DO 16X RELAY 220VAC

Se decidió mantener la tensión de trabajo de los módulos de salida en 220VAC, debido a que los contactores y accionamientos trabajan con la misma tensión.

Módulo de entradas analógicas: 6ES7 331-7KF02-0AB0 - AI 8X4-20mA

Se seleccionaron módulos de entradas analógicas de 4-20 mA debido a que los instrumentos instalados en campo transmiten sus variables de proceso mediante este tipo de señal estándar.

Módulo de salidas analógicas: 6ES7 332-5HF00-0AB0 - AO 8X4-20mA

Se seleccionaron los módulos de salidas analógicas de 4-20 mA debido a que los equipos de control instalados en campo, como válvulas de control y variadores de velocidad, operan mediante este tipo de señal estándar. Finalmente se presenta en la Tabla 6 el hardware del PLC Siemens.

Tabla 6 **Lista de módulos requeridos PLC Siemens**

Modelo	Descripción	Cantidad
S7-300 CPU 315	Controlador lógico programable	1
6ES7 331-7KF02-0AB0	Entrada analógica 8 X 4-20mA	1
6ES7 332-5HF00-0AB0	Salida analógica 8 X 4-20mA	1
6ES7 321-1BH02-0AA0	Entradas digitales 16 X 110VAC	1
6ES7 322-1HH01-0AA0	Salidas digitales 16 X RLY 240VAC	2

Fuente. Elaboración propia

- ✓ **Diseño de la arquitectura de red industrial**

En este proyecto se implementó una arquitectura de red basada en Ethernet Industrial en topología estrella. Para ello, el PLC S7-300 fue equipado con un módulo de comunicación, permitiendo la comunicación con el SCADA AVEVA y el panel HMI. Además, se incorporó un switch industrial de comunicación para interconectar con toda la red.

Tabla 7 **Lista de dispositivos de red**

Modelo	Descripción	Cantidad
CP 343-1 Lean	Módulo de comunicación Ethernet	1
6GK5204-2BB10-2AA3	Switch de comunicación X204-2	1
6AV2123-2JB03-0AX0	Basic Panel KTP900	1
ES1	Estación de ingeniería de Línea 2	0
PC Scada Aveva	SCADA AVEVA EDGE 2020	0

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 9, se presenta la nueva arquitectura de la red industrial del Horno Vertical N°1

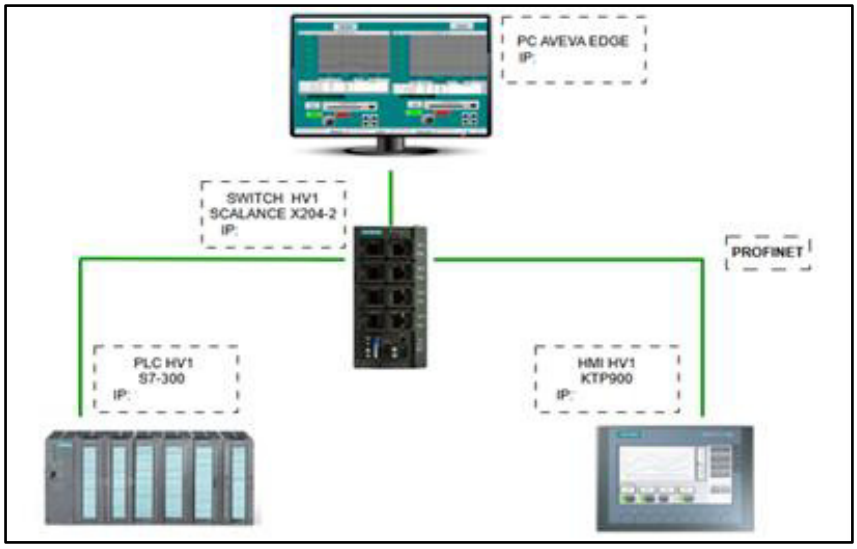


Figura 9 **Arquitectura de Red con PLC Siemens.** Fuente. Elaboración propia

- ✓ **Desarrollo del programa de control**

El desarrollo de la programación del nuevo PLC S7-300 CPU 315 se ejecutó desde cero mediante el software Simatic Manager STEP7 v5.5.

- ➢ **Creación del nuevo proyecto en Simatic Manager**

Se creó un proyecto S7-300 con el nombre de HORNO 1, como se muestra en la Figura 10. Posteriormente, mediante la opción HW Config, se realizó la configuración del hardware correspondiente al nuevo sistema de control.

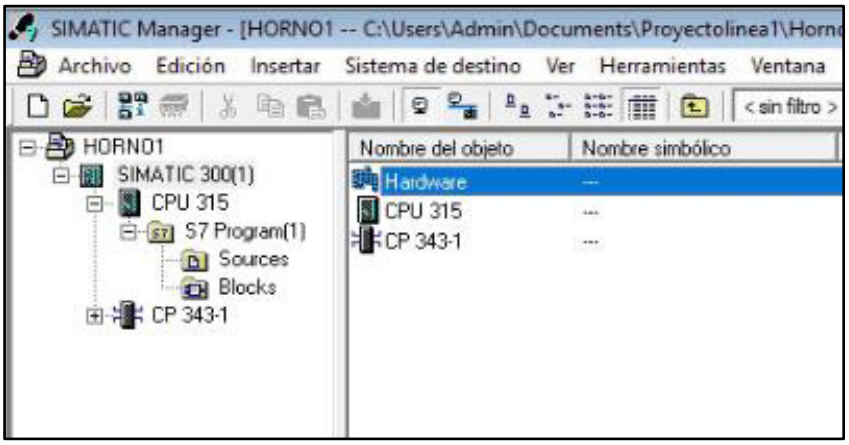
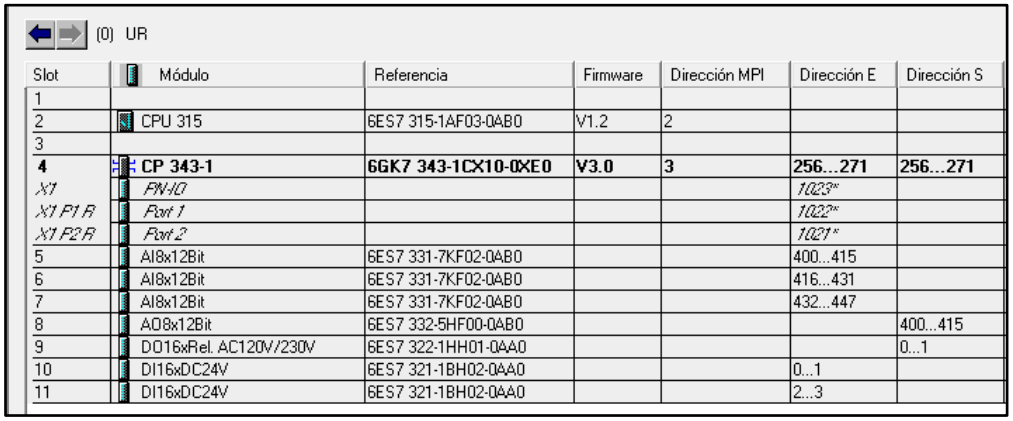


Figura 10 **Configuración de Hardware PLC Siemens.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Luego, se agregó el bastidor e insertamos la CPU, el módulo de comunicación CP, los módulos de entradas y salidas, asignando las direcciones correspondientes a cada módulo como se muestra en la Figura 11.


(0) UR

Slot	Módulo	Referencia	Firmware	Dirección MPI	Dirección E	Dirección S
1						
2	CPU 315	6ES7 315-1AF03-0AB0	V1.2	2		
3						
4	**CP 343-1**	**6GK7 343-1CX10-0XE0**	**V3.0**	**3**	**256...271**	**256...271**
X1	*PN-IO*				*1023**	
X1 P1 R	*Port 1*				*1022**	
X1 P2 R	*Port 2*				*1021**	
5	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			400...415	
6	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			416...431	
7	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			432...447	
8	AO8x12Bit	6ES7 332-5HF00-0AB0				400...415
9	DO16xRel. AC120V/230V	6ES7 322-1HH01-0AA0				0...1
10	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH02-0AA0			0...1	
11	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH02-0AA0			2...3	

Figura 11 **Direccionamiento de módulos de entrada y salida.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Configuración de los módulos analógicos

Las entradas y salidas del Horno Vertical N°1 operan mediante señales de 4-20 mA. Sin embargo, las entradas analógicas consideran equipos de 2 y 4 hilos dependiendo si el instrumento es activo o pasivo. En la Figura 12 se muestra a detalle la configuración de los módulos analógicos.

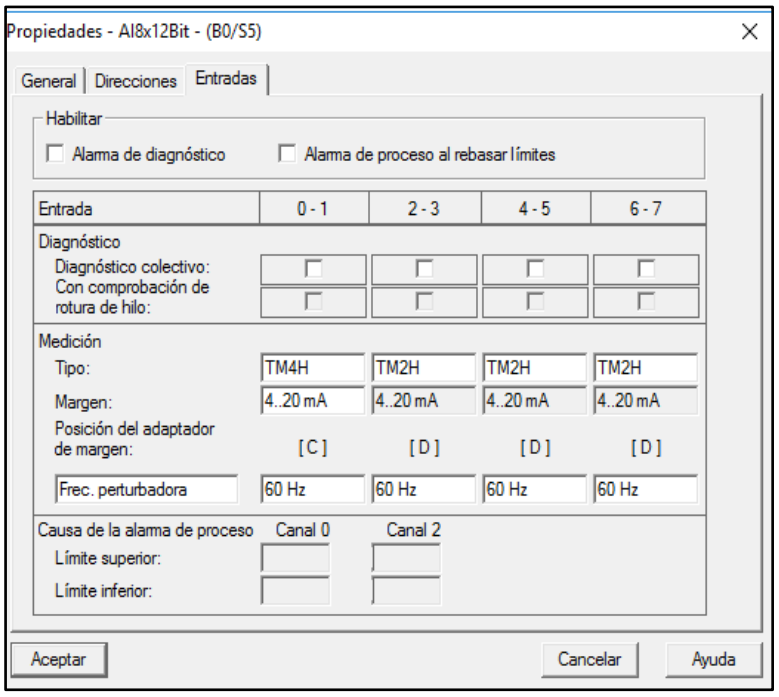


Figura 12 **Configuración de entradas analógicas.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

➢ **Tabla de símbolos**

Se diseñó una tabla de símbolos en el cual se asignó un tag único a cada dirección correspondiente las entradas y salidas digitales y analógicos de los módulos del sistema, como se muestra en la Figura 13. Para ello, se utilizó un formato de identificación estructurado definido como: CÓDIGO _ VARIABLE (NÚMERO). Esta identificación uniforme de las señales y facilitar su ubicación dentro del programa de control y la supervisión del proceso.

Editor de símbolos - [S7 Program(1) (Symbols) -- HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315]

Tabla Edición Insertar Ver Herramientas Ventana Ayuda

< Vista filtrada >

	Estado	Símbolo	Direcció	Tipo de dato	Comentario
1		480175_RUN	E 0.0	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de corneta de tolva crudo
2		480175_SV1_RUN	E 0.1	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de aire superior
3		480175_SV2_RUN	E 0.2	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de aire inferior
4		480190_RUN	E 0.3	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de balanza de crudo
5		480190_OL	E 0.4	BOOL	Sobrecarga de balanza de crudo
6		480190_HS	E 0.5	BOOL	Parada de emergencia de balanza de crudo
7		480185_RUN	E 0.6	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de feeder
8		480185_OL	E 0.7	BOOL	Sobrecarga de feeder
9		480290_CV1_RUN	E 1.0	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de valvula DELTORQUE
10		480290_CV2_RUN	E 1.1	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de valvula AUTOMAX
11		480290_F1_RUN	E 1.2	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de flujometro
12		480305_RUN	E 1.3	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de faja de pellets
13		480295_RUN	E 1.4	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de disco de pellets
14		480290_RUN	E 1.5	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de mezcladora
15		480240_RUN	E 1.6	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de elevador
16		480235_RUN	E 1.7	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de tornillo
17		480385_RUN	E 2.0	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de vibrador
18		480370_RUN1	E 2.1	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de ejevertical der
19		480370_RUN2	E 2.2	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de ejevertical izq
20		480175_LSL	E 2.3	BOOL	Nivel Bajo Tolva Horno1
21		480175_LSH	E 2.4	BOOL	Nivel Alto Tolva Horno1
22		RESERVABIT3	E 2.5	BOOL	Reserva de entrada digital
23		RESERVABIT4	E 2.6	BOOL	Reserva de entrada digital
24		RESERVABIT5	E 2.7	BOOL	Reserva de entrada digital
25		RESERVABIT6	E 3.0	BOOL	Reserva de entrada digital
26		RESERVABIT7	E 3.1	BOOL	Reserva de entrada digital
27		RESERVABIT8	E 3.2	BOOL	Reserva de entrada digital
28		RESERVABIT9	E 3.3	BOOL	Reserva de entrada digital
29		RESERVABIT10	E 3.4	BOOL	Reserva de entrada digital
30		RESERVABIT11	E 3.5	BOOL	Reserva de entrada digital
31		RESERVABIT12	E 3.6	BOOL	Reserva de entrada digital
32		RESERVABIT13	E 3.7	BOOL	Reserva de entrada digital

Figura 13 **Tabla de símbolos de entradas digitales.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

➢ **Configuración Tarjeta de red**

Se realizó la configuración de la dirección IP correspondiente a la tarjeta de red del módulo CP 343-1 Lean, tal como se muestra en la Figura 14. Asimismo, se desactivo el servicio web para evitar la saturación de la memoria del PLC y se habilitaron todos los servicios de comunicación. Esta configuración permitió integrar el PLC a la red industrial y establecer la comunicación con los dispositivos asociados al sistema de control.

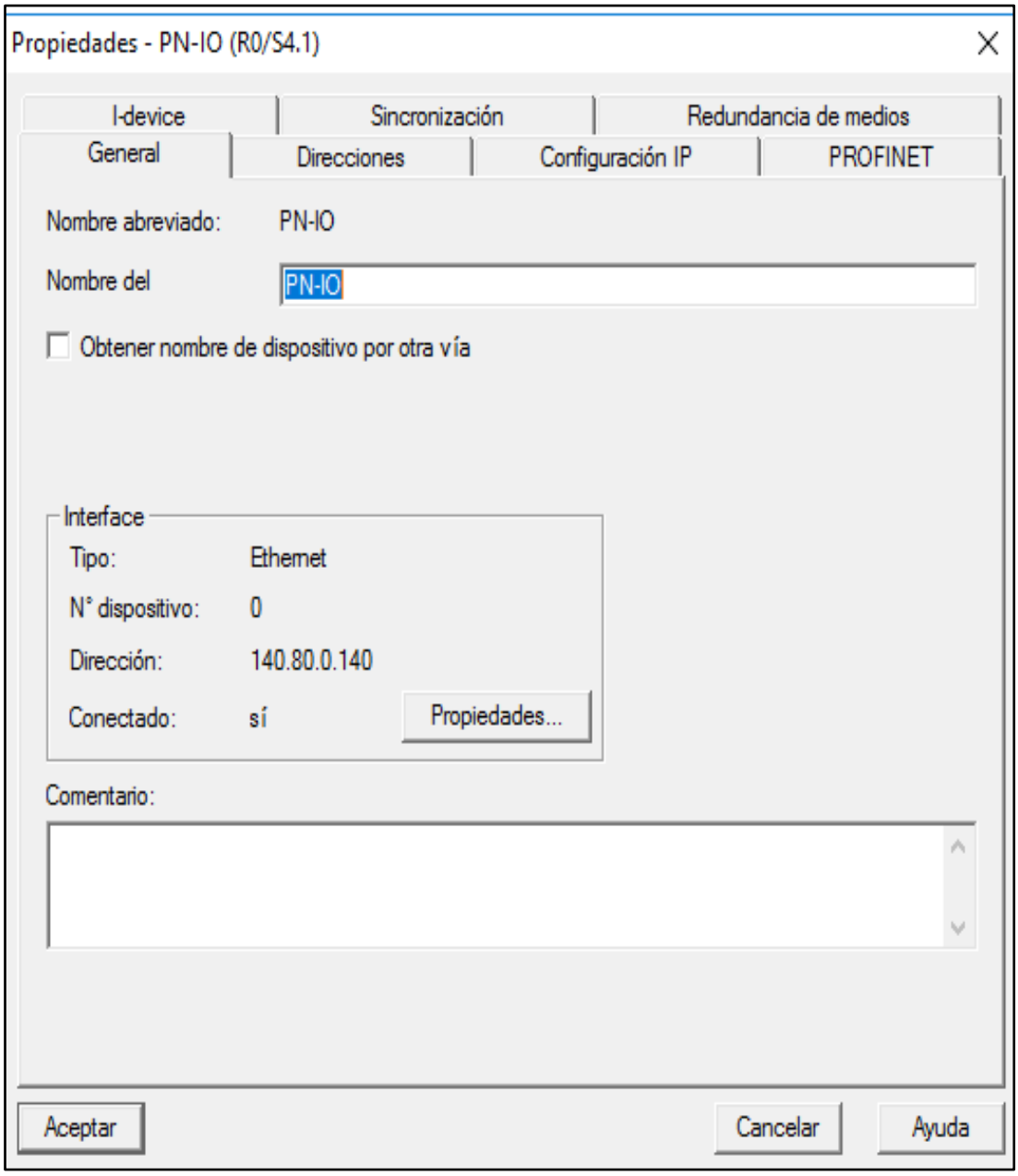


Figura 14 **Configuración de tarjeta de red de PLC Siemens.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

➢ **Desarrollo de bloques de programación**

Se propuso estructurar el programa del PLC en subprogramas mediante el uso de Funciones (FC), Bloques de función (FB) y Bloque de datos (DB), como se presenta en la Figura 15, con el fin de facilitar la organización, mantenimiento y depuración de la lógica de control. Asimismo, el programa principal (OB1) es interrumpido de forma cíclica cada 50ms por un OB dedicado a la ejecución de lazos control PID del flujo de agua y crudo.

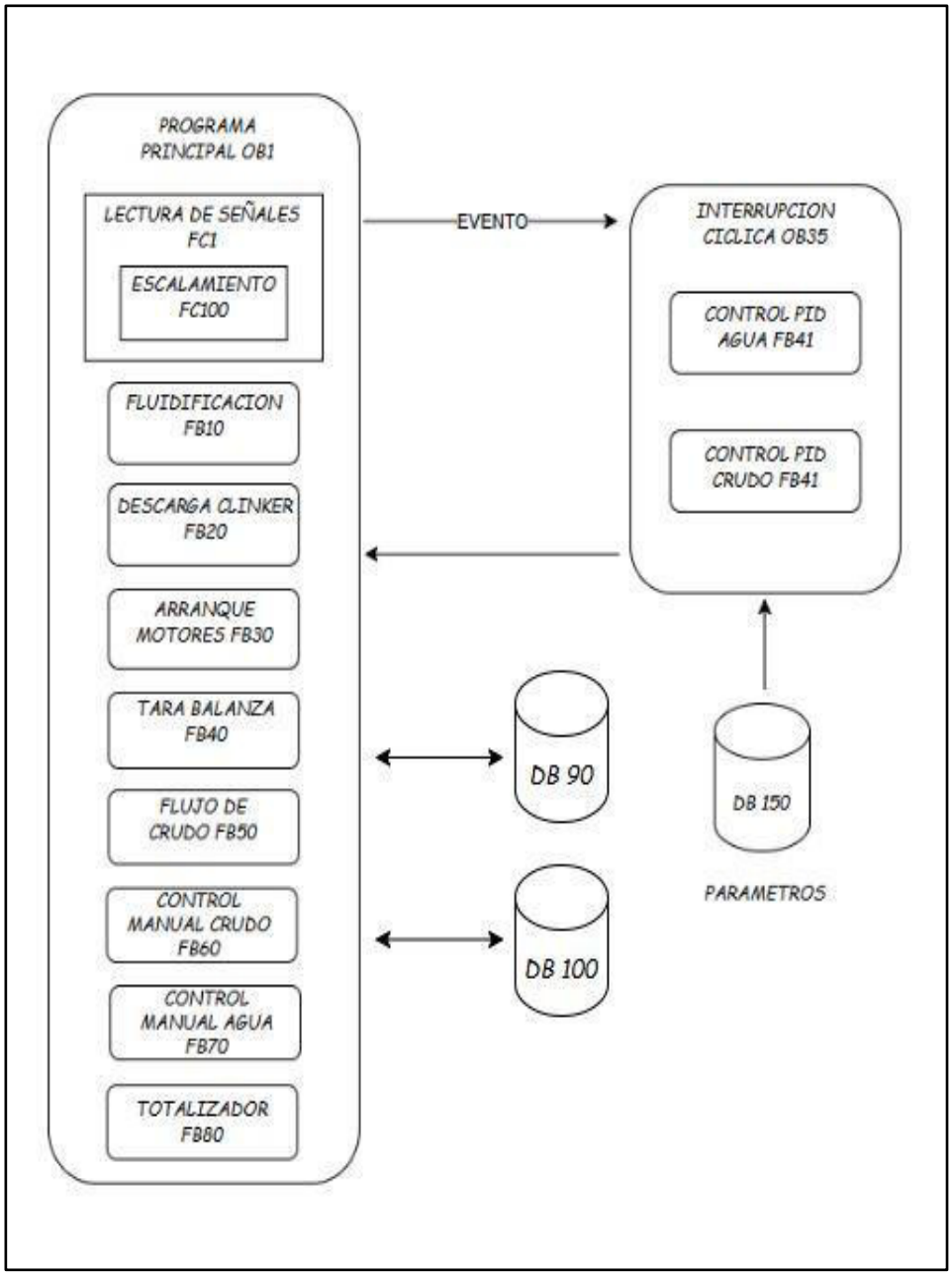


Figura 15 **Estructura de programa en PLC Siemens.** Fuente. Elaboración propia

Programa principal Main OB1

En el bloque principal OB1 se incorporaron los bloques de función (FB), cada uno asociado a su respectivo bloque de datos (DB). Asimismo, se asignó una denominación específica a cada bloque de función de acuerdo con la tarea que desempeña dentro del proceso, con el propósito de facilitar la depuración y la interpretación del programa. En la Figura 16 se presentan los bloques insertados en el programa principal OB1 del PLC.

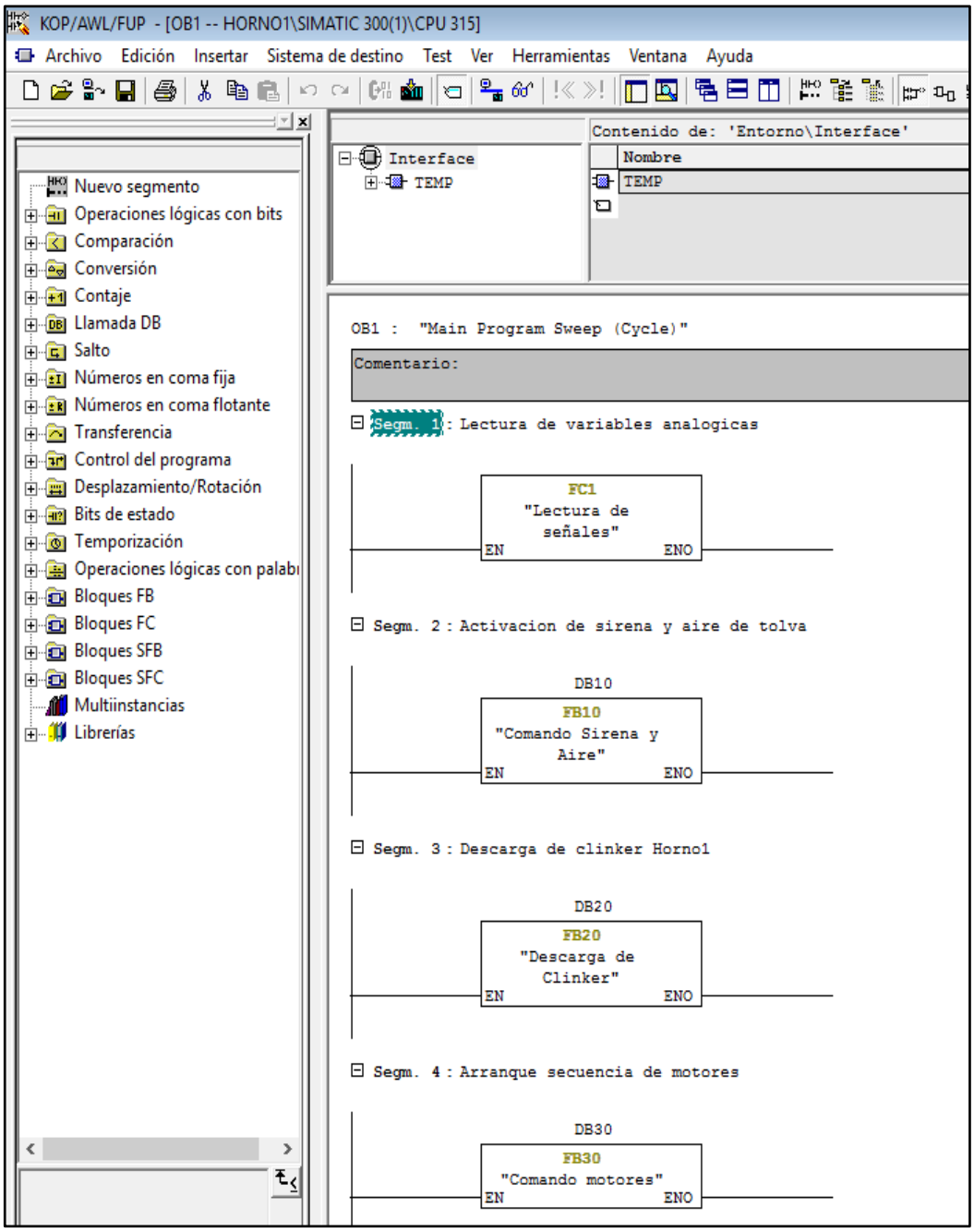


Figura 16 **Bloque de programa OB1.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Lectura de las variables del proceso (FC1)

En esta función se realizó la lectura de las variables de proceso, tales como las temperaturas de las zonas del horno, la presión de soplador, el flujo de agua y el peso registrado por la balanza. Posteriormente, estos valores fueron almacenados en el bloque de datos DB100, desde donde pudieron ser utilizados y visualizados en el sistema SCADA. Para el desarrollo de esta tarea se empleó la función FC100, encargada de realizar el escalamiento de las señales analógicas a magnitudes físicas, permitiendo una interpretación adecuada de las variables por parte del usuario.

Bloque de datos señales de proceso (DB100)

Las variables del proceso obtenidas mediante las entradas analógicas fueron almacenadas en el bloque de datos DB100. En la Figura 17 se presentan las variables registradas en dicho bloque de datos.

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	MEZC_F1	REAL	0.000000e+000	Sensor de flujo agua mezcladora
+4.0	BZA_WG	REAL	0.000000e+000	Sensor de peso de balanza
+8.0	Reserva1	REAL	0.000000e+000	RESERVA ANALOGICA1
+12.0	Reserva2	REAL	0.000000e+000	RESERVA ANALOGICA2
+16.0	HORNO_T1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo inferiorA
+20.0	HORNO_T2	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo inferiorB
+24.0	HORNO_T3	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo inferiorC
+28.0	HORNO_T4	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo inferiorD
+32.0	HORNO_T5	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo inferiorE
+36.0	HORNO_T6	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo inferiorF
+40.0	HORNO_T7	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo superiorA
+44.0	HORNO_T8	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo superiorB
+48.0	HORNO_T9	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo superiorC
+52.0	HORNO_T10	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo superiorD
+56.0	HORNO_T11	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo superiorE
+60.0	HORNO_T12	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aniilo superiorF
+64.0	HORNO_T13	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura gases lado A
+68.0	HORNO_T14	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura gases lado B
+72.0	BLOWER_T1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aceite blower
+76.0	BLOWER_P1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de presion principal blower
+80.0	BLOWER_P2	REAL	0.000000e+000	Transmisor de presion secundario anillo blower
+84.0	FILTRO_T1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura ingreso filtro mangas
+88.0	FILTRO_T2	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura salida filtro mangas
+92.0	FILTRO_PD	REAL	0.000000e+000	Transmisor de presion diferencial filtro mangas
=96.0		END_STRUCT		

Figura 17 **Bloque de Datos DB100.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Sistema de fluidificación (FB10)

El sistema de fluidificación está conformado por dos válvulas solenoides que se accionan de manera alternada con diferentes intervalos de tiempo, con el objetivo de mantener un flujo continuo de material crudo y facilitar su adecuada dosificación hacia la balanza.

La válvula correspondiente al anillo superior se activa cada 13 segundos, permaneciendo energizada durante 5 segundos. Por otro lado, la válvula de anillo inferior también se activa en intervalos de 13 segundos, pero con un tiempo de encendido de 10 segundos. En la Figura 18 se presenta el diagrama de tiempos correspondiente a la secuencia de activación de ambas válvulas.

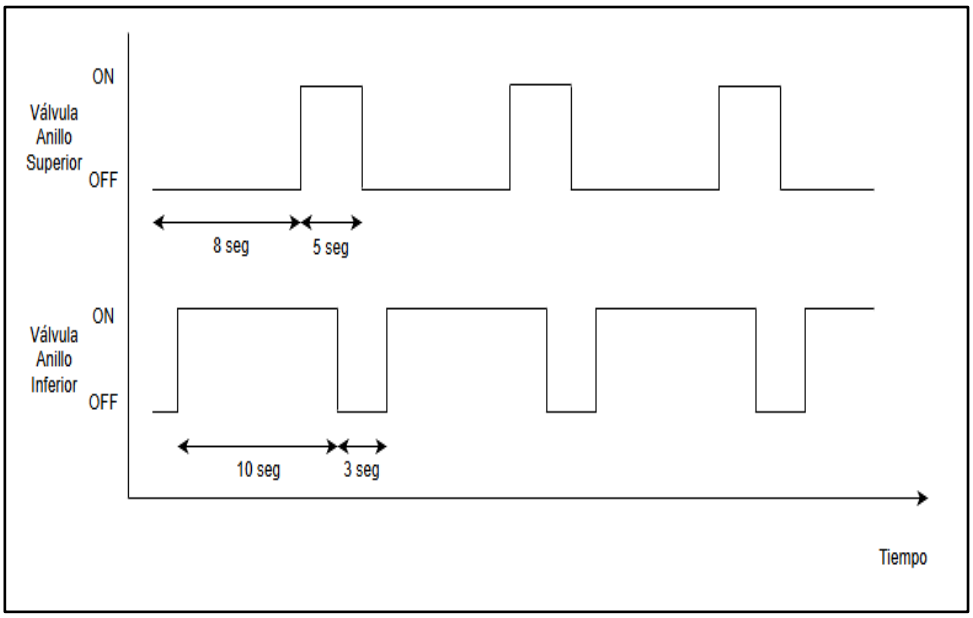


Figura 18 **Diagrama de tiempo del sistema de fluidificación.** Fuente. Elaboración propia

Descarga de Clínker (FB20)

La descarga de clínker del Horno Vertical se realizó mediante el accionamiento del motor del eje vertical y la activación periódica de un vibrador. Cuando el vibrador no se activa durante aproximadamente 2 minutos, el sistema genera una alarma “SIN DESCARGA”, la cual se visualiza tanto en el sistema SCADA como en el panel HMI. Asimismo, si el vibrador permanece activado por un tiempo superior a 2 minutos, se genera la alarma “DESCARGA CONTINUA” en ambos sistemas de supervisión. Esta lógica permite supervisar el comportamiento del sistema de descarga de clinker.

Arranque de motores (FB30)

El traslado del material crudo se realiza mediante un conjunto de motores que operan de manera secuencial y coordinada. Este sistema está conformado por la faja de balanza, el tornillo de crudo, el elevador de crudo, la mezcladora, el disco de pellets y la faja de pellets.

El arranque y la parada de los equipos inicia con la activación de la faja de pellets y seguida del disco de pellets. Luego de 15 segundos se activa la mezcladora, seguida del elevador de crudo, el tornillo de descarga de crudo y finalmente la faja de balanza de crudo. En la Figura 19 se presenta los equipos involucrados en la alimentación del material crudo hacia el Horno Vertical.

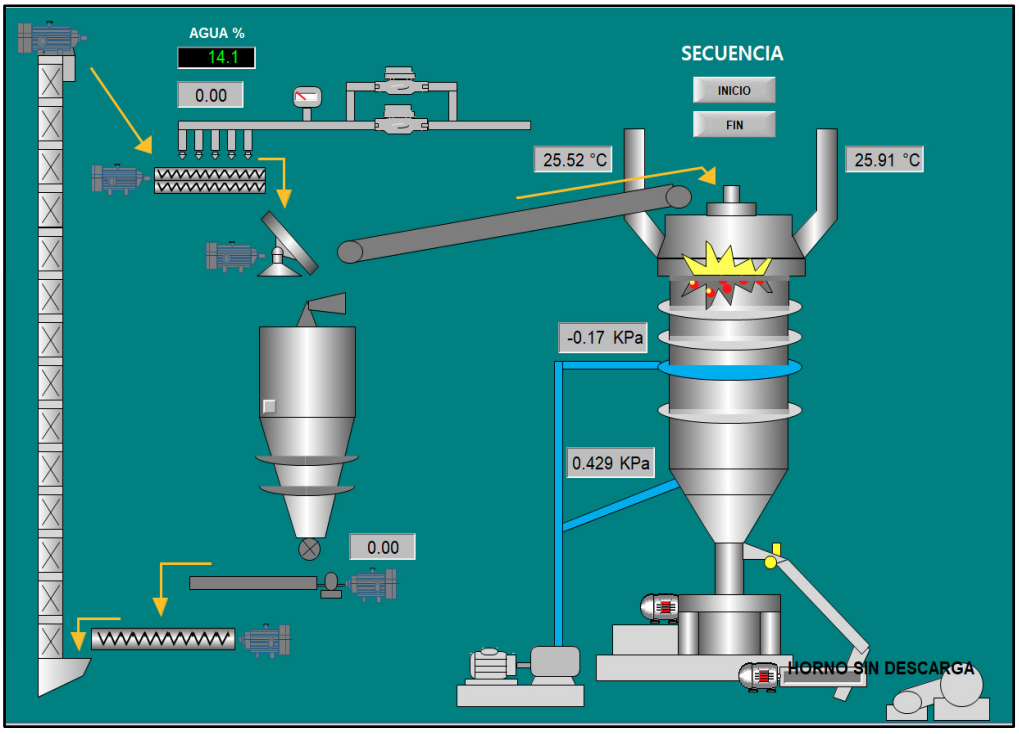


Figura 19 **Motores de alimentación del material crudo.** Fuente. Software Aveva Edge.

Tara balanza de crudo (FB40)

El procedimiento de tara consiste en la adquisición de la señal de peso proveniente de la celda de carga durante 60 segundos, mientras la faja de la balanza opera sin presencia de material crudo. El valor promedio resultante se utilizó como referencia cero para el sistema de pesaje. Adicionalmente, dentro de esta lógica se configuraron algunos parámetros, tales como el factor de conversión, la velocidad y longitud de la faja.

Remanencia

Considerando que los parámetros de la balanza de crudo deben conservarse después de una pérdida de energía, se determinó que la opción más adecuada era configurar el PLC para almacenar dichos datos en una memoria remanente. Para ello, se asignaron 64 bytes del bloque de datos DB150 como área de remanencia, permitiendo que la información se conserve en una memoria no volátil. En la Figura 20 se muestra la configuración realizada para la habilitación de la memoria remanente en el PLC.

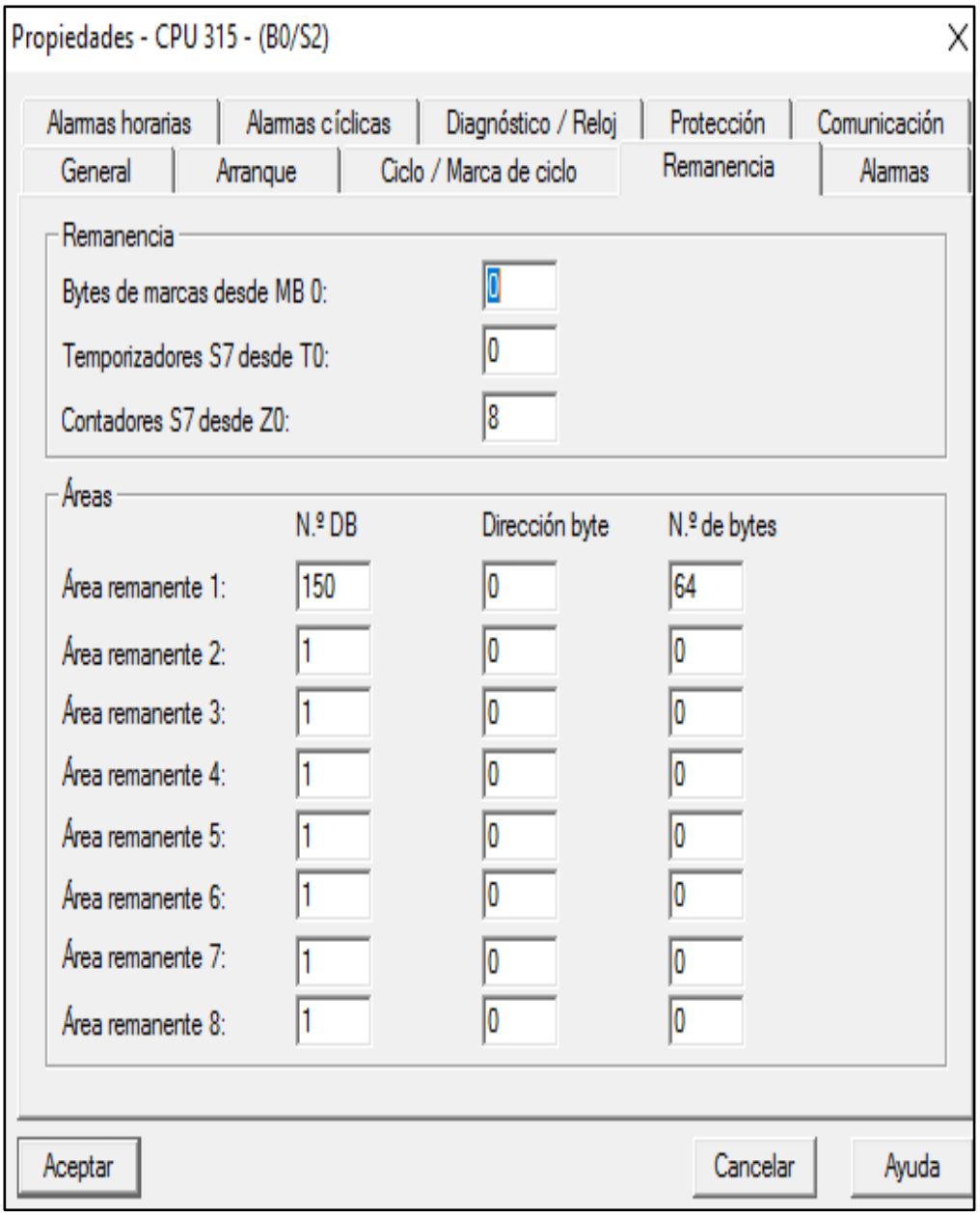


Figura 20 **Configuración de remanencia en PLC S7-300.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Bloque de datos Parámetros (DB150)

Los parámetros de la balanza de crudo, la consigna de flujo de material crudo y agua, así como los parámetros de los lazos de control PID correspondientes al flujo de material de crudo y agua, se almacenaron en el bloque de datos remanente DB150. En la Figura 21 se presentan en detalle las variables y parámetros contenidos en dicho bloque de datos.

KOP/AWL/FUP - [DB150 -- "DB_HMI" -- HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315\...\DB150]

Archivo Edición Insertar Sistema de destino Test Ver Herramientas Ventana Ayuda

Librerías

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	TI_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+4.0	TD_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+8.0	KC_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+12.0	TI_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+16.0	TD_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+20.0	KC_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+24.0	VELOCIDAD	REAL	0.000000e+000	
+28.0	LONGITUD	REAL	0.000000e+000	
+32.0	FACTOR_WN	REAL	0.000000e+000	
+36.0	TARA	REAL	0.000000e+000	
+40.0	SP_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+44.0	SP_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+48.0	PV_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+52.0	PV_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+56.0	RESERVA1	REAL	0.000000e+000	
+60.0	RESERVA2	REAL	0.000000e+000	
+64.0	CORNETA	BOOL	FALSE	
+64.1	AIRE_S	BOOL	FALSE	
+64.2	AIRE_I	BOOL	FALSE	
+64.3	BALANZA	BOOL	FALSE	
+64.4	FEEDER	BOOL	FALSE	
+64.5	VALV_DELTORQUE	BOOL	FALSE	
+64.6	VALV_AUTOMAX	BOOL	FALSE	
+64.7	FLUJOMETRO	BOOL	FALSE	
+65.0	FAJA_PELLETS	BOOL	FALSE	
+65.1	DISCO_PELLETS	BOOL	FALSE	
+65.2	MEZCL_PELLETS	BOOL	FALSE	
+65.3	ELEVADOR	BOOL	FALSE	
+65.4	TORNILLO	BOOL	FALSE	
+65.5	VIBRADOR	BOOL	FALSE	
+65.6	SIN_DESC	BOOL	FALSE	
+65.7	CON_DESC	BOOL	FALSE	
+66.0	EJE_VERTICAL1	BOOL	FALSE	
+66.1	EJE_VERTICAL2	BOOL	FALSE	
=68.0		END_STRUCT		

Figura 21 **Configuración de remanencia en PLC S7-300.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Cálculo de flujo de crudo (FB50)

Este bloque de función se encarga de realizar el cálculo del flujo de material en la balanza de crudo. Primero se verifica que el valor de peso proveniente de la celda de carga supere el umbral mínimo correspondiente a un valor mayor de 4mA. Luego se realiza la lectura de los valores peso almacenados en varios registros y se calcula el promedio de dichos datos.

A continuación, se calcula la diferencia entre el valor promedio obtenido con el valor de tara para determinar el peso neto del material. Finalmente, este resultado es multiplicado por un factor de peso y velocidad de faja, obteniéndose el flujo de material expresado en unidades de toneladas por hora.

Control manual flujo de crudo (FB60)

En este bloque de función se desarrolló la lógica de control para gestionar la dosificación de crudo en modo manual. El operador puede aumentar o disminuir el valor de la consigna en pasos de 1% y 10% mediante señales de pulsos provenientes del SCADA. Esta lógica permite realizar ajustes graduales de la consigna de dosificación, facilitando el control de flujo de crudo durante la operación.

Control manual flujo de agua (FB70)

En este bloque de función se desarrolló la lógica de control para gestionar la dosificación de agua en modo manual. El operador puede aumentar o disminuir el valor de la consigna en pasos de 1% y 10% mediante señales de pulsos provenientes del SCADA. Esta lógica permite realizar ajustes graduales, facilitando el control de flujo de agua durante la operación.

Totalizador de flujo de crudo y agua (FB80)

En este bloque de función se realiza el cálculo de los valores acumulados de consumo de material crudo y agua. Para ello, se capturan periódicamente los valores de flujo cada 10 segundos y se efectúan los cálculos correspondientes. Los resultados obtenidos se almacenan en el bloque de datos DB90, el cual serán utilizados por el sistema SCADA para la visualización y control de proceso.

Interrupción cíclica (OB35)

Para una correcta ejecución del bloque de control PID, se recomienda utilizar un bloque de organización cíclico (OB), ya que permite disponer de un tiempo de muestreo fijo, mejorar la precisión de las acciones de control proporcional, integral y derivativo, así como lograr una independencia en la ejecución del controlador respecto al ciclo SCAN del PLC. Para nuestro caso, se configuró el OB35, el cual se ejecuta de manera cíclica cada 50ms. Esto se detalla en la Figura 22.

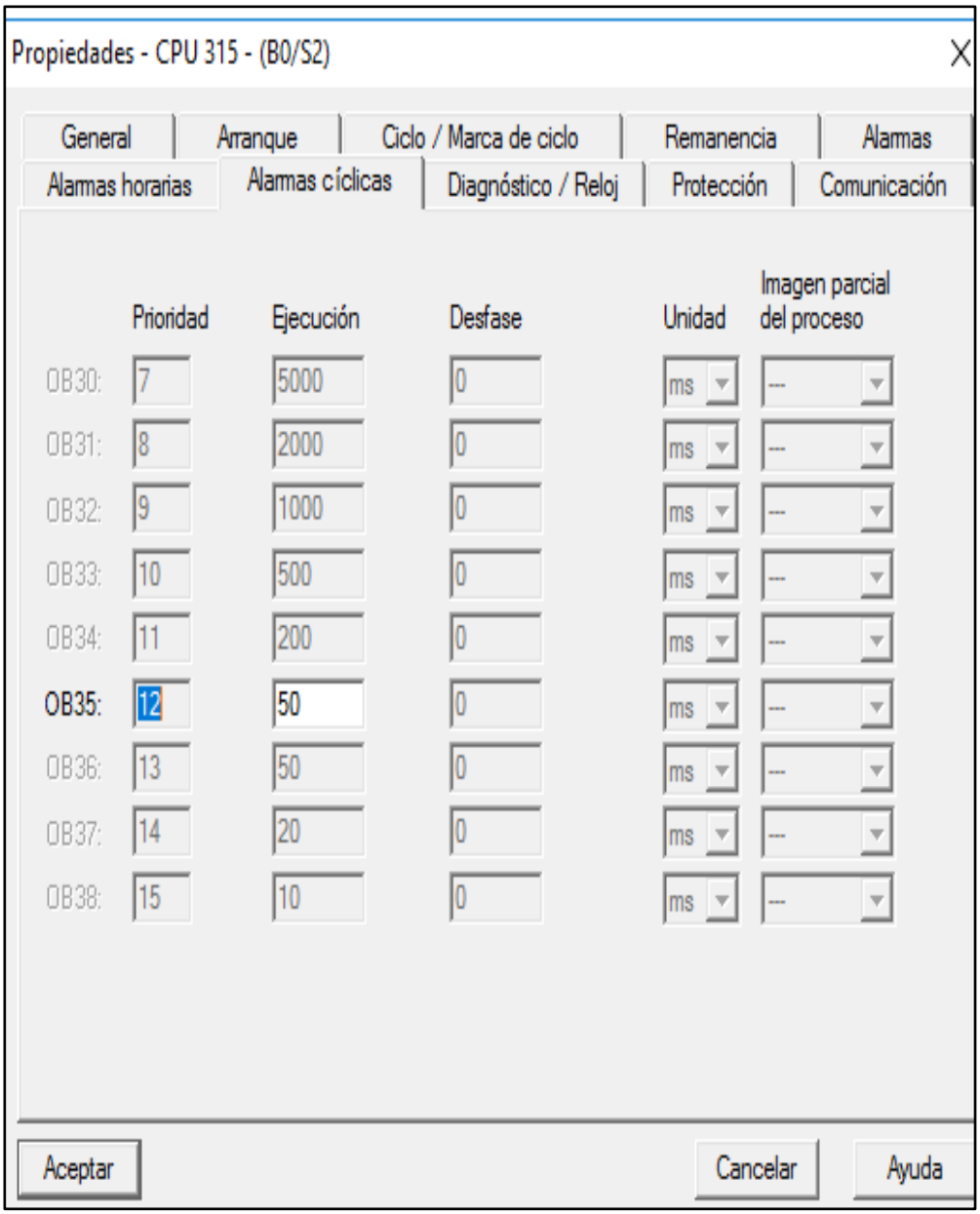


Figura 22 **Configuración de remanencia en PLC S7-300.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Control PID

Para llevar a cabo el control PID de una variable de proceso en el PLC Siemens SIMATIC S7-300 se empleó el bloque de función FB41 (CONT_C). Este bloque implementa un regulador de tipo PID continuo y dispone de diversos parámetros de entrada y salida que permiten configurar el comportamiento del controlador y procesar la señal controlada. En la Figura 23 se presenta el diagrama de bloque detallado de la función FB41.

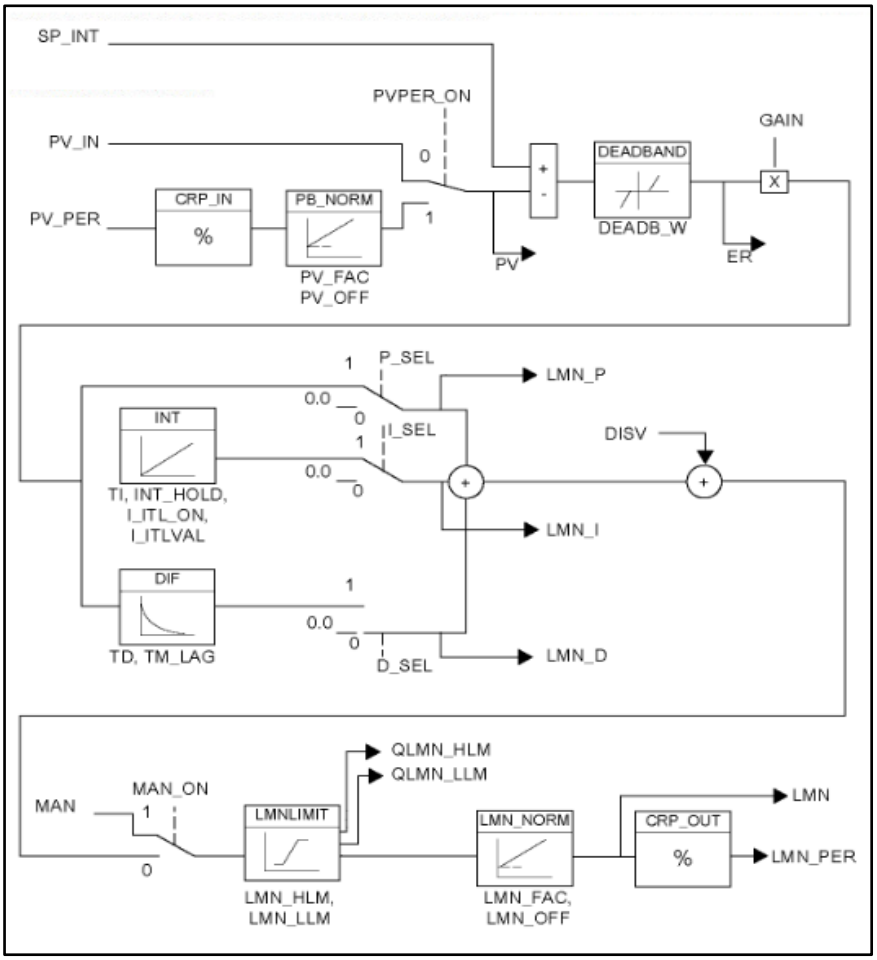


Figura 23 **Bloque de control PID.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Control PID flujo de crudo

En primer lugar, se acondiciono los parámetros de entrada, tales como la consigna, la variable de proceso, el tiempo de integración y el tiempo derivativo, al tipo de dato requerido por el bloque de control PID. Finalmente, las salidas generadas por el bloque PID se enlazaron con las salidas analógicas del sistema, encargándose de regular la velocidad del feeder de la balanza de crudo.

Control PID flujo de agua

En primer lugar se acondiciono los parámetros de entrada, tales como la consigna, la variable de proceso, el tiempo de integración y el tiempo derivativo, al tipo de dato requerido por el bloque de control PID. Finalmente, las salidas generadas por el bloque PID se enlazaron con las salidas analógicas del sistema, encargándose de regular la apertura de la válvula de control de agua.

- ✓ **Configuración de Transmisores de temperatura**

En el Horno Vertical N°1 se monitorean las temperaturas de las zonas de calentamiento y enfriamiento, denominadas anillo superior e inferior. Cada anillo cuenta con seis puntos de medición en el cual emplea termocuplas tipo K, las señales eléctricas generadas son enviadas a los transmisores de temperatura TR200 encargada de convertirlas y estandarizarlas para posteriormente trasmitirlas al PLC, donde son procesadas y supervisadas en el sistema de control. En la Figura 24 se presenta la configuración de los transmisores de temperatura TR200 desarrollada en el entorno SIPROM T.

Parameter	Value	Unit
>>>>Identification		
>>>>>>Operation Unit		
Tag	TR200	
Descriptor	480310/T1	
Message	Anillo inferior zona1	
>>>>>>Device		
Manufacturer	Siemens	
Device Type	SITRANS TR200	
Device Serial Number	AZB/000000	
Universal Revision	0.0	
Device Revision	0.0	
Hardware Revision	00	
Firmware Revision	01.00.00	
Date	08/05/2024	
>>>>Input		
Sensor Offset	0.00	°C
>>>>>>Measuring Limits		
Lower Value Min	-200.00	°C
Upper Value Max	1370.00	°C
Unit	°C	
>>>>>>Sensor		
Sensor Class	Thermocouple	
Sensor Type	TC Type K - IEC 584	
Connection Type	Standard	
Sensor Connection	2-wire	
Sensor Factor	1.00	
CJC Type	Internal	
>>>>>>Process Value Scale		
Lower Value	0.00	°C
Upper Value	1000.00	°C

Figura 24 **Configuración de transmisor TR200.** Fuente. Software SipromT

- ✓ **Diseño de la Interfaz Hombre Máquina**

El desarrollo de la interfaz de operación se realizó en un panel HMI SIEMENS modelo KTP900 mediante el software TIA Portal V17.

- ➢ **Lista de tags**

Se elaboró una lista de tags, como se muestra en la Figura 25, para relacionar las variables de los bloques de datos DB100, DB150 y DB90 del PLC con los correspondientes campos de entrada y salida, gráficos y tendencias del panel HMI. En la lista de tags se detalla la conexión, el tipo de datos a utilizar (REAL, BOOL, INT) y la dirección del PLC.

PARAMETROS

Name	Data type	Connection	Address
AIRE_I	Bool	Connection_1	%DB150.DBX64.2
AIRE_S	Bool	Connection_1	%DB150.DBX64.1
BALANZA	Bool	Connection_1	%DB150.DBX64.3
BLOWER_P1	Real	Connection_1	%DB100.DBD76
BLOWER_P2	Real	Connection_1	%DB100.DBD80
BLOWER_T1	Real	Connection_1	%DB100.DBD72
BZA_WG	Real	Connection_1	%DB150.DBD56
CON_DESC	Bool	Connection_1	%DB150.DBX65.7
CORNETA	Bool	Connection_1	%DB150.DBX64.0
DISCO_PELLETS	Bool	Connection_1	%DB150.DBX65.1
EJE_VERTICAL1	Bool	Connection_1	%DB150.DBX66.0
EJE_VERTICAL2	Bool	Connection_1	%DB150.DBX66.1
ELEVADOR	Bool	Connection_1	%DB150.DBX65.3
FACTOR	Real	Connection_1	%DB150.DBD32
FAJA_PELLETS	Bool	Connection_1	%DB150.DBX65.0
FEEDER	Bool	Connection_1	%DB150.DBX64.4
FILTRO_PD	Real	Connection_1	%DB100.DBD92
FILTRO_T1	Real	Connection_1	%DB100.DBD84
FILTRO_T2	Real	Connection_1	%DB100.DBD88
FLUJOMETRO	Bool	Connection_1	%DB150.DBX64.7
HORNO_T1	Real	Connection_1	%DB100.DBD16
HORNO_T10	Real	Connection_1	%DB100.DBD52
HORNO_T11	Real	Connection_1	%DB100.DBD56
HORNO_T12	Real	Connection_1	%DB100.DBD60
HORNO_T13	Real	Connection_1	%DB100.DBD64
HORNO_T14	Real	Connection_1	%DB100.DBD68
HORNO_T2	Real	Connection_1	%DB100.DBD20
HORNO_T3	Real	Connection_1	%DB100.DBD24
HORNO_T4	Real	Connection_1	%DB100.DBD28
HORNO_T5	Real	Connection_1	%DB100.DBD32
HORNO_T6	Real	Connection_1	%DB100.DBD36
HORNO_T7	Real	Connection_1	%DB100.DBD40
HORNO_T8	Real	Connection_1	%DB100.DBD44

Figura 25 **Lista de tags de Panel HMI KTP900.** Fuente. Software Tia Portal

➢ **Desarrollo de pantallas**

Se diseñó cada pantalla del panel HMI considerando la secuencia lógica existente, la estructura funcional y los parámetros operativos de un interfaz similar instalado en otro horno vertical, garantizando así la estandarización de la navegación y la coherencia funcional entre equipos.

Pantalla Plantilla

Se consideró el uso de una Plantilla como base común para todas las pantallas del proyecto. Su función es estandarizar elementos de visualización y navegación que debían mantenerse de forma constante, evitando su configuración individual en cada pantalla permitiendo mantener una estructura gráfica uniforme.

Lista de Gráficos

Se elaboró una lista de Gráficos, el cual nos permite almacenar y organizar imágenes que se usarán dentro del proyecto.

Pantalla Inicio

Es la pantalla principal que se mostrará al encender el panel HMI. Desde esta pantalla se dispone de botones que permiten navegar hacia las diferentes áreas del proceso.

Pantalla Filtro de Mangas Principal

Pantalla donde se monitorea las variables de temperatura y presión del filtro de mangas principal del Horno vertical.

Pantalla Horno Vertical

Pantalla donde se presenta los equipos ubicados en el horno vertical, como la descarga de clínker y el soplador, además se tiene lectura de la presión del soplador y de la temperatura de los gases.

Pantalla Temperatura de Anillo Horno

Pantalla que muestra las variables de temperatura del anillo superior e inferior del horno vertical.

Pantalla Alimentación de crudo

Pantalla que muestra los equipos de alimentación de crudo, las consignas de operación y valores de proceso del flujo de crudo y agua. En Figura 26 se muestra los equipos involucrados.

Pantalla Parámetros

Pantalla que permite visualizar los parámetros de calibración de la balanza, así como los parámetros del lazo de control PID para el flujo de crudo y agua.

Pantalla Tendencia Balanza

Pantalla que muestra la tendencia de la consigna y el valor de proceso de flujo de material crudo.

Pantalla Tendencia Temperatura

Pantalla que muestra la tendencia de la variable de proceso de temperatura de anillo superior e inferior del horno vertical.

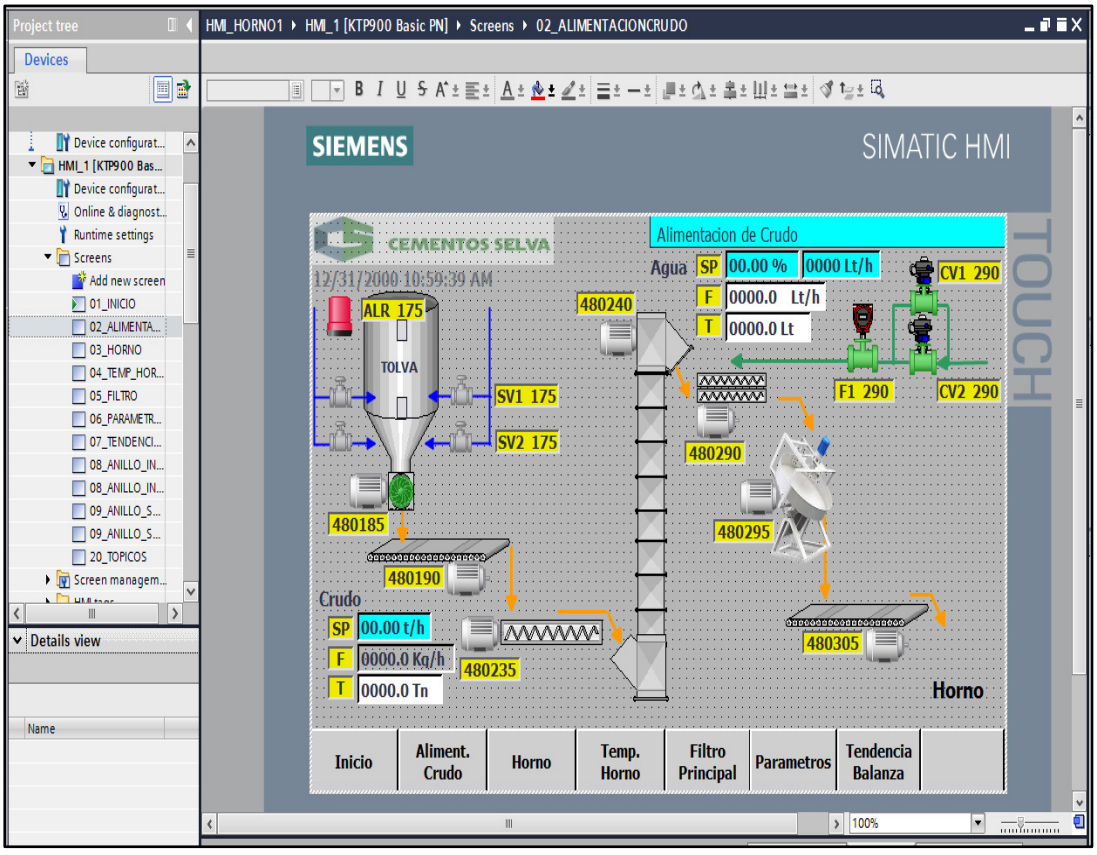


Figura 26 **Pantalla Alimentación de crudo Panel HMI.** Fuente. Software Tia Portal

➢ **Conexión de variables**

Conexión de tags en Campos E/S

Luego del desarrollo de las pantallas, se establecieron las conexiones de los tags con los campos de entrada y salida del panel HMI. Esta configuración permitió vincular las variables de proceso con los campos de visualización.

Conexión de tags con gráficos

Posterior al diseño de las pantallas, se estableció las conexiones de los tags con los gráficos correspondientes a motores y válvulas del panel HMI. En la Figura 27 se presenta el campo de propiedades del gráfico del motor, donde se lleva a cabo la vinculación con el tag correspondiente. Esta configuración permitió asociar las variables de proceso con los elementos gráficos de la interfaz.

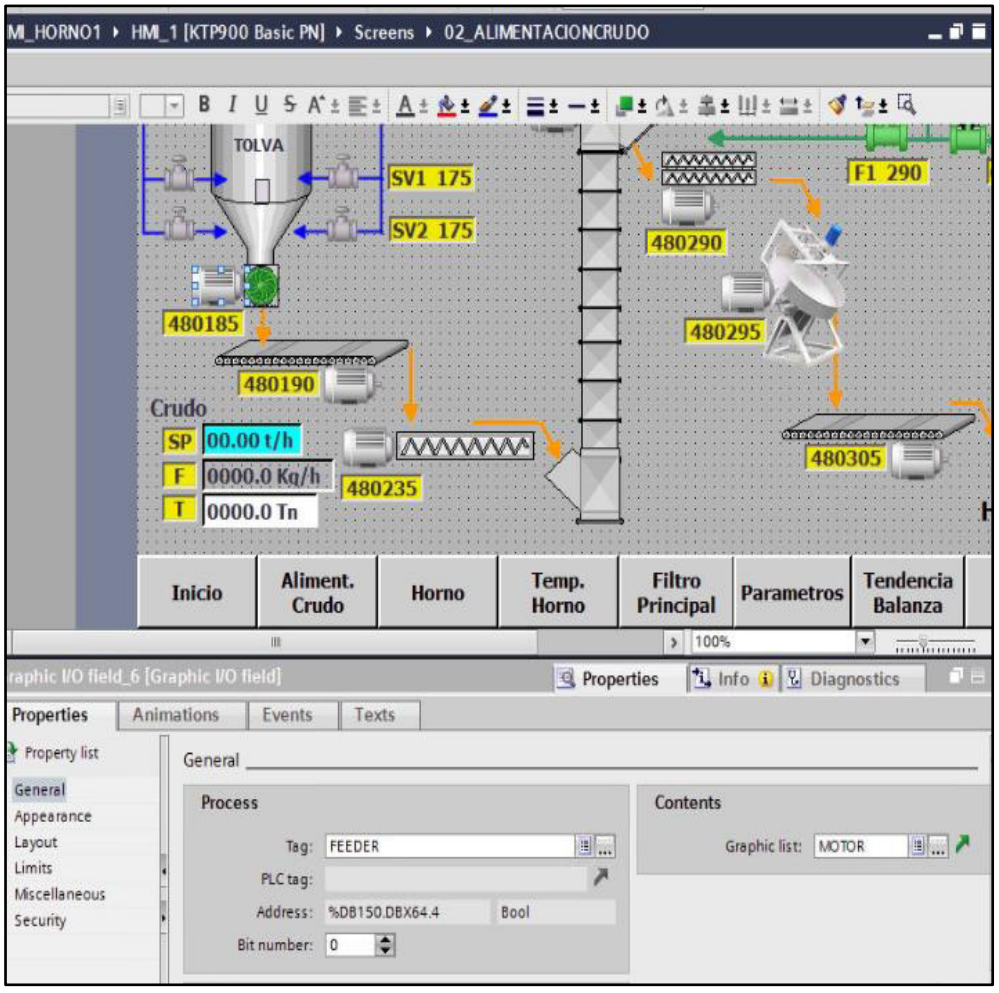


Figura 27 **Conexión gráfico motor Feeder 480185.** Fuente. Software Tia Portal

✓ **Desarrollo de SCADA AVEVA**

El controlador SIETH del SCADA AVEVA permite la comunicación entre el software Studio AVEVA y los controladores Siemens mediante el protocolo de Ethernet Industrial. Para ello se configuró el driver especificación la dirección IP del PLC, el número de bastidor (rack), la ranura de la CPU y el TSAP local

Asimismo, se definieron los encabezados de comunicación (Header Field), encargados de identificar el tipo de registro que serán leídos o escritos desde el PLC.

Variables Entradas Digitales

Para la supervisión de las señales digitales de proceso, se elaboró una lista de tags denominada S7_300_HORNO1_DI, como se muestra en la Figura 28, donde se direccionan las variables de tipo booleana correspondientes a las entradas digitales. Estas variables fueron configuradas utilizando direccionamiento por offset y bit.

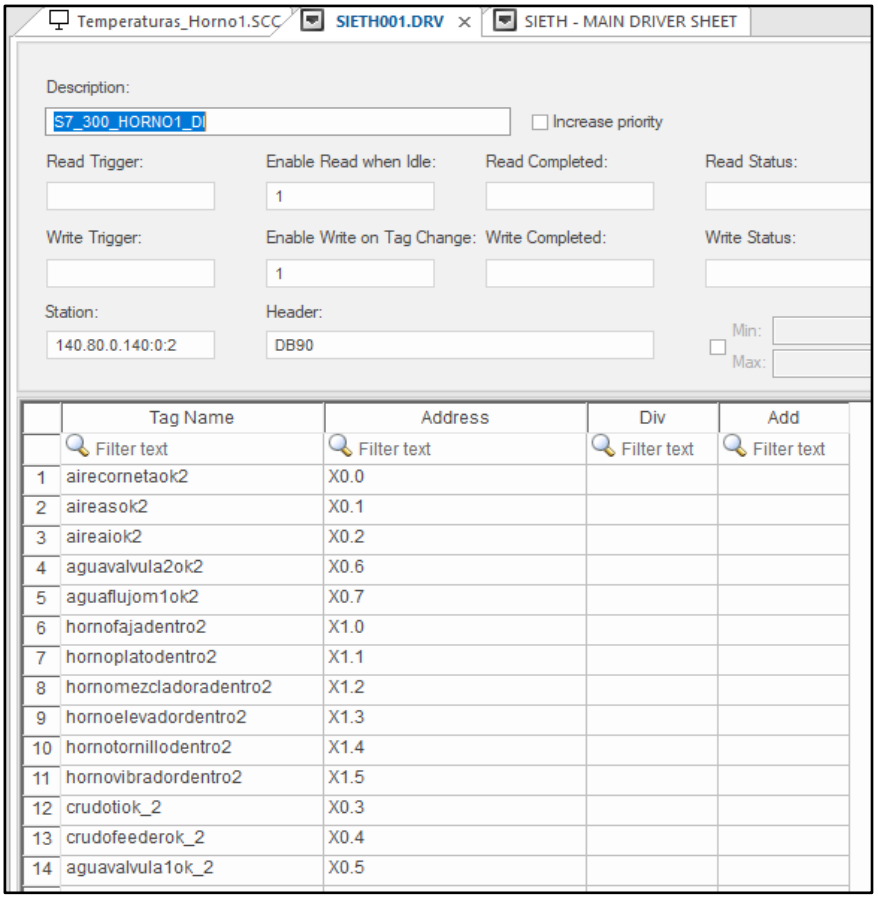


Figura 28 **Lista de tags de entradas digitales en SCADA.** Fuente. Software Aveva Edge

Variables Salidas Digitales

En el caso de las señales digitales correspondientes a las salidas, se elaboró una lista de tags denominada S7_300_HORNO1_DO, estas variables fueron configuradas utilizando direccionamiento por offset y bit.

Variables de Tendencia

Se creó una lista de variables denominada S7_300_HORNO1_TENDENCIA. Para la asignación de estas variables de tipo byte se emplea la sintaxis inicial W0, utilizada para direccionar el primer registro del Bloque de Datos DB90.

Variables de Balanza

Se elaboró una lista de variables denominada S7_300_HORNO1_BALANZA, destinada a la gestión de las variables asociadas al sistema de dosificación. Para la asignación de estas variables de tipo flotante se emplea la sintaxis inicial F0, utilizada para direccionar la primera variable real del Bloque de Datos DB90.

Variables de Parámetros

Se elaboró una lista de denominada S7_300_HORNO1_PARAMETROS. Para la asignación de estas variables de tipo flotante, se empleó la sintaxis inicial F0, utilizada para direccionar la primera variable real del Bloque de Datos DB150.

Variables de Entradas Analógicas

Se elaboró una lista de variables denominada S7_300_HORNO1_AI. Para la asignación de estas variables de tipo flotante, se empleó la sintaxis inicial F0, utilizada para direccionar la primera variable real del Bloque de Datos DB 100.

Variables de Salidas Analógicas

Se elaboró una lista de variables denominada S7_300_HORNO1_AO. Para la asignación de las variables correspondientes a las salidas analógicas del PLC, se utilizó como referencia la salida Q400. En este esquema, la dirección W0 corresponde a la salida QW 400, la dirección W2 corresponde a QW 402, y la dirección W4 corresponde a QW 404.

➢ **Diseño de pantallas**

Pantalla Horno Vertical

En esta pantalla se muestran los equipos de alimentación de crudo, junto con la consigna y las variables de proceso del flujo de material crudo y agua.

Pantalla Tendencia

En esta pantalla se monitorea la tendencia de la consigna y la variable de proceso del flujo de material crudo y agua, esto se presenta en la Figura 29.

Pantalla Secuencia de alimentación

Esta pantalla permite monitorear el arranque y parada de la secuencia de alimentación de crudo además de visualizar el estado de operación de los motores eléctricos.

Pantalla Parámetros Balanza de crudo y PID

En esta pantalla se presenta los parámetros de calibración de la balanza y de los lazos de control PID para el flujo de material crudo y agua.

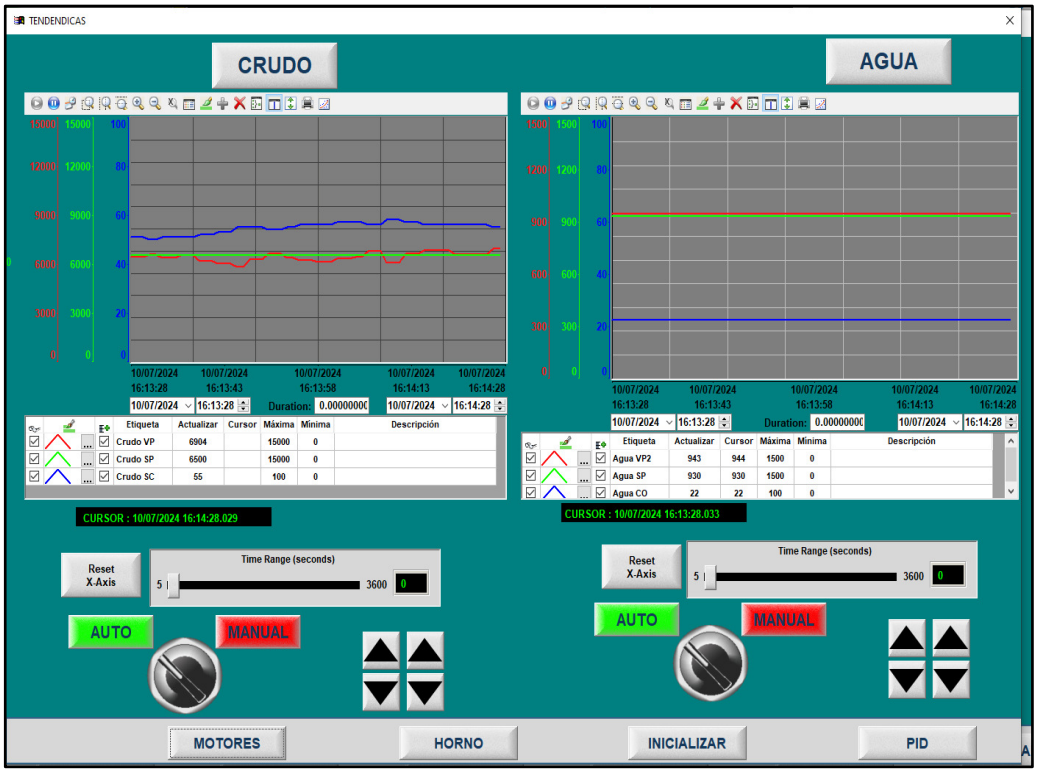


Figura 29 **Pantalla tendencia de flujo de material crudo y agua.** Fuente. Software Aveva Edge

➢ **Conexión de variables con SCADA**

Conexión de tags con el sistema de fluidificación

Luego del desarrollo de las pantallas en el SCADA se estableció la conexión del tag con el gráfico de válvulas de anillo superior e inferior y válvulas de control.

Conexión de tags con gráfico de motores eléctricos

Se estableció la conexión de los tags con los gráficos de los motores de la secuencia de alimentación de crudo.

Conexión de tags con variables de proceso

Se estableció la conexión de los tags con los campos de presión, flujo de material, flujo de agua y temperatura, como se puede ver en la Figura 30.

Conexión de tags con lazos de control

Se realizó la conexión de los tags con el campo de entrada y salida de *consigna del flujo de material crudo y agua.*

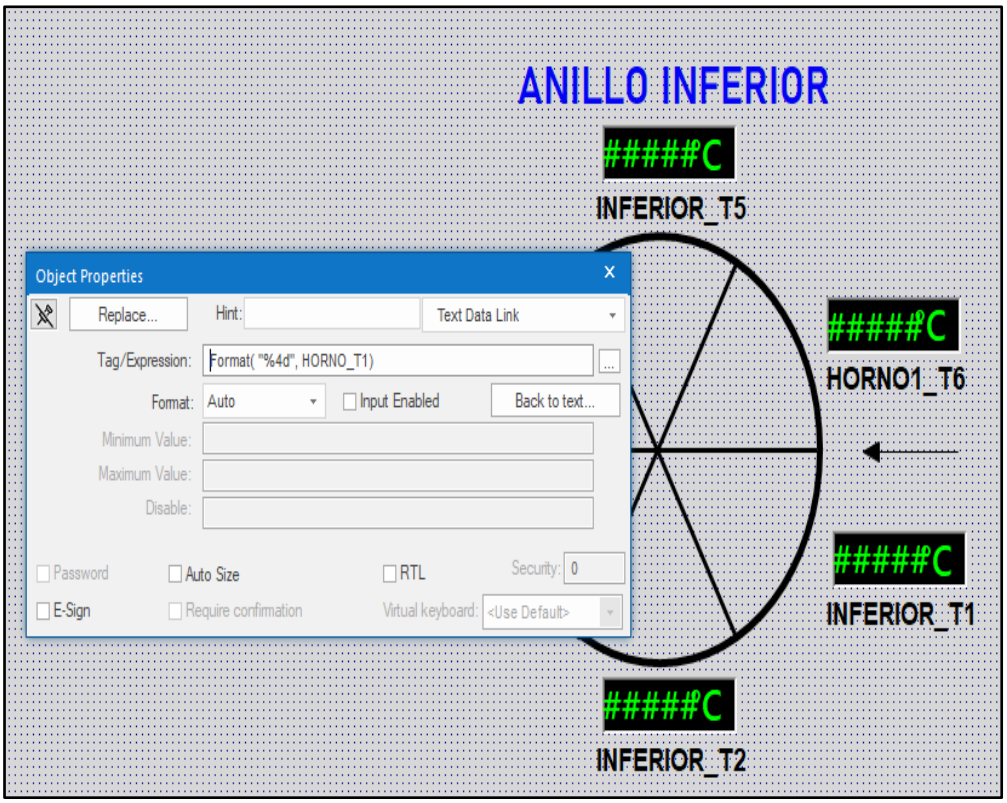


Figura 30 **Conexión temperatura del horno.** Fuente. Software Aveva Edge

IMPLEMENTACIÓN EN CAMPO

- ✓ **Desmontaje de PLC Allen-Bradley**

Una vez desarrollada la lógica de control y elaborado el diseño del panel HMI y SCADA, se procedió con el reemplazo del PLC. Previamente a la desconexión, se realizó la rotulación e identificación de todos los cables del sistema de control. Luego se procedió con el desmontaje del PLC y sus respectivos módulos de expansión.

- ✓ **Montaje y conexionado de PLC Siemens**

Posterior al desmontaje y la desconexión del sistema de control comandado por el PLC Allen-Bradley, se procedió con el montaje del PLC Siemens y sus respectivos módulos, como se puede ver en la Figura 31. Asimismo, se realizaron las conexiones de alimentación, señales de entrada y salida, así como la conexión de comunicación de la red industrial.



Figura 31 **Tablero eléctrico de PLC Siemens.** Fuente. Elaboración Propia

- ✓ **Carga de programa al PLC Siemens**

Se realizó la conexión al PLC Siemens a través del puerto MPI utilizando el cable de comunicación PC/Adapter USB A2. Una vez establecida la comunicación, se procedió a cargar el programa de automatización, incluyen los bloques de organización, función, bloque de función y bloques de datos.

- ✓ **Montaje y conexionado de Panel HMI**

Luego de la configuración del panel HMI, se realizó el montaje del panel HMI modelo KTP900. Asimismo, se ejecutó las conexiones de alimentación y comunicación entre el panel HMI y el PLC Siemens, validando la adecuada visualización de las pantallas y señales de campo.

- ✓ **Carga de configuración a Panel HMI**

En primer lugar, se identificó el panel HMI mediante el software TIA PORTAL, la cual se detalla en la Figura 32. Posteriormente, se asignó la dirección IP de acuerdo con el diseño establecido en la arquitectura de red industrial. Finalmente se realizó la transferencia y carga de la configuración y diseño de las pantallas HMI, validando su correcto funcionamiento.

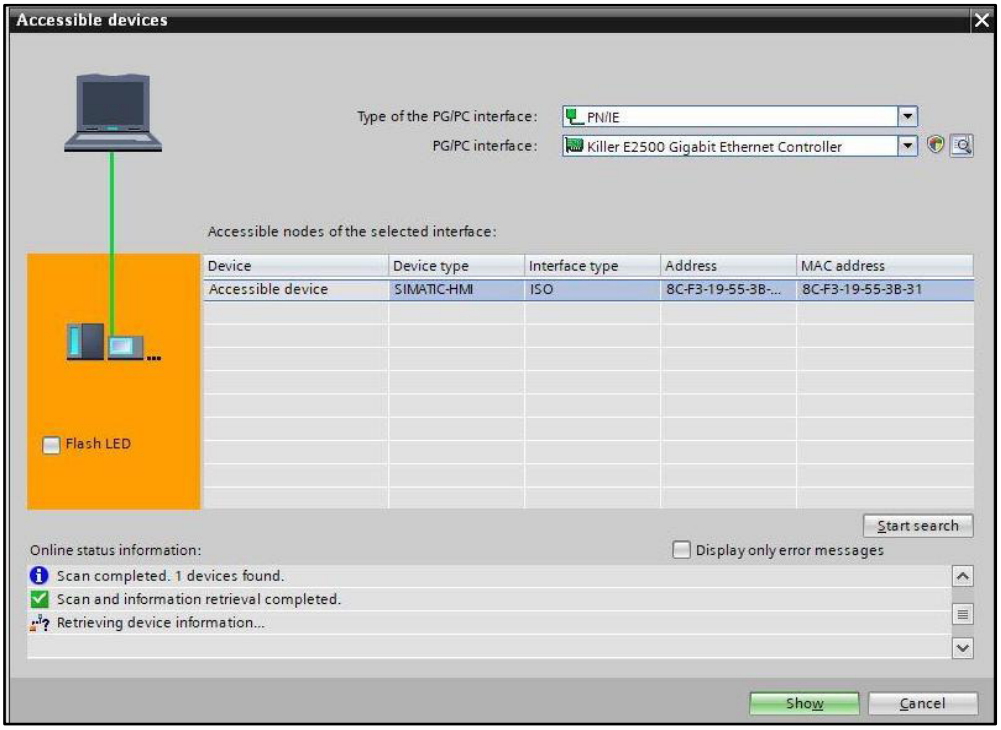


Figura 32 **Identificación del Panel HMI en TIA PORTAL.** Fuente. Elaboración Propia

- ✓ **Montaje y conexionado de Switch de comunicación**

Luego de realizar el montaje del PLC y del panel HMI, se procedió con la instalación del switch de comunicación industrial SCALANCE X204-2. Posteriormente, se realizó la conexión de la comunicación de la red Ethernet Industrial, interconectando el PLC Siemens S7-300, el panel HMI KTP900 y la computadora que contiene el sistema SCADA AVEVA. Finalmente se verificó la correcta comunicación entre todos los dispositivos integrados en la red industrial.

- ✓ **Carga de configuración al switch de comunicación.**

Se estableció una conexión con el switch de comunicación industrial SCALANCE X204-2 mediante un cable Ethernet. Una vez establecida la conexión física, se accedió al servidor web del dispositivo, como se muestra en la Figura 33. Posteriormente, desde la interfaz web se configuraron los parámetros de red, tales como la dirección IP, mascara de subred, ID de identificación, habilitación de puertos y velocidad de comunicación de cada puerto. Finalmente, se procedió a cargar la configuración al switch.

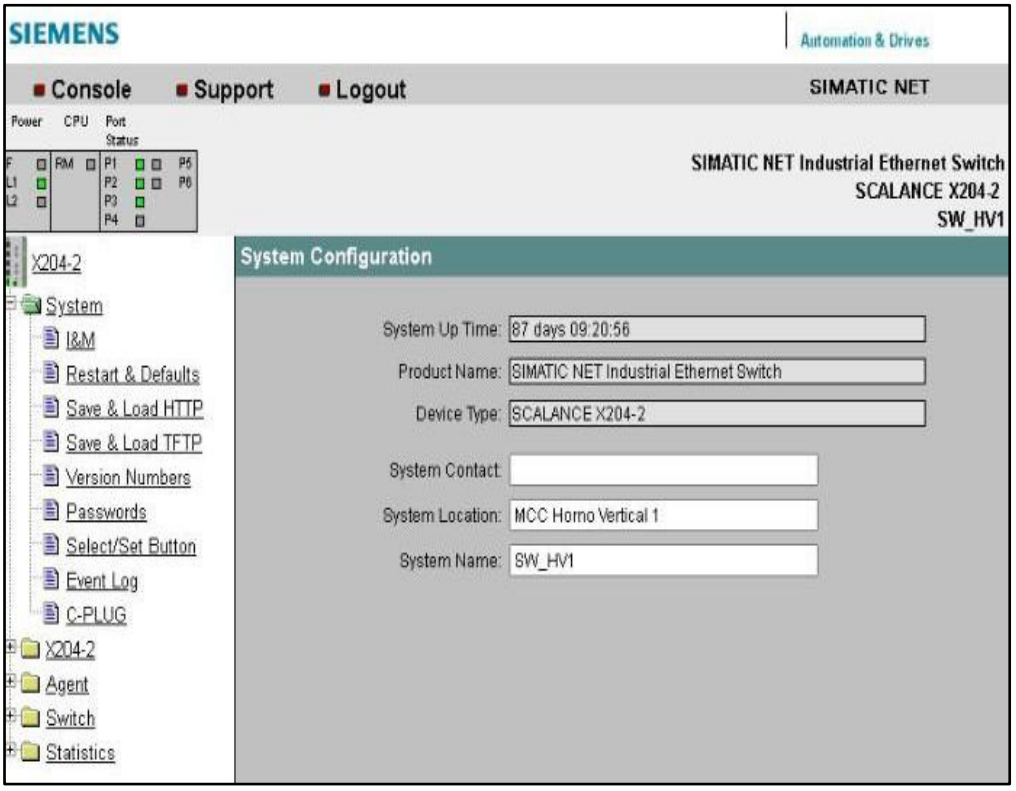


Figura 33 **Interfaz web configuración switch SCALANCE.** Fuente. Elaboración Propia

- ✓ **Reemplazo de tablero de indicadores de temperatura**

Asimismo, se realizó el reemplazo de los indicadores de temperatura por transmisores de temperatura las cuales se presenta en la Figura 34. Para ello, se realizó el desmontaje completo del tablero de indicadores de temperatura y posteriormente los nuevos transmisores fueron instalados y cableados en el tablero eléctrico del PLC.



Figura 34 **Transmisores de temperatura TR200.** Fuente. Elaboración propia

3.6 Resultado de la actividad

Modernización del hardware del sistema de control, como se muestra en la Figura 35, mediante la implementación de un nuevo controlador lógico programable, módulos de entradas y salidas, un módulo de comunicación y transmisores de temperatura.



Figura 35 **Nuevo sistema de control Siemens.** Fuente. Elaboración propia

Integración del sistema de control con el sistema SCADA AVEVA e implementación de una interfaz HMI para el monitoreo y control del proceso en tiempo real. En la figura 36 se visualiza el panel HMI implementado.

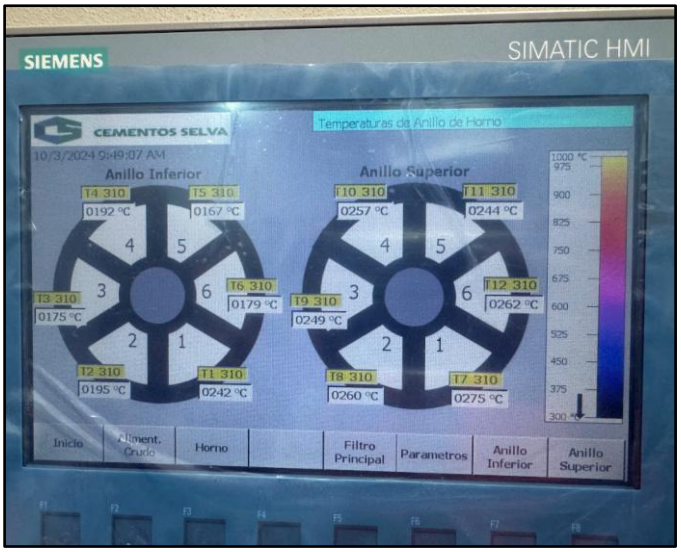


Figura 36 **Pantalla Temperatura de anillo panel HMI.** Fuente. Elaboración propia

Reducción de paradas imprevistas de operación generadas por fallas del PLC asociadas a la perdida datos de memoria de la lógica de control y a la desconfiguración de las comunicaciones industriales. En la Figura 37 se presenta el estado de la memoria del PLC Siemens.

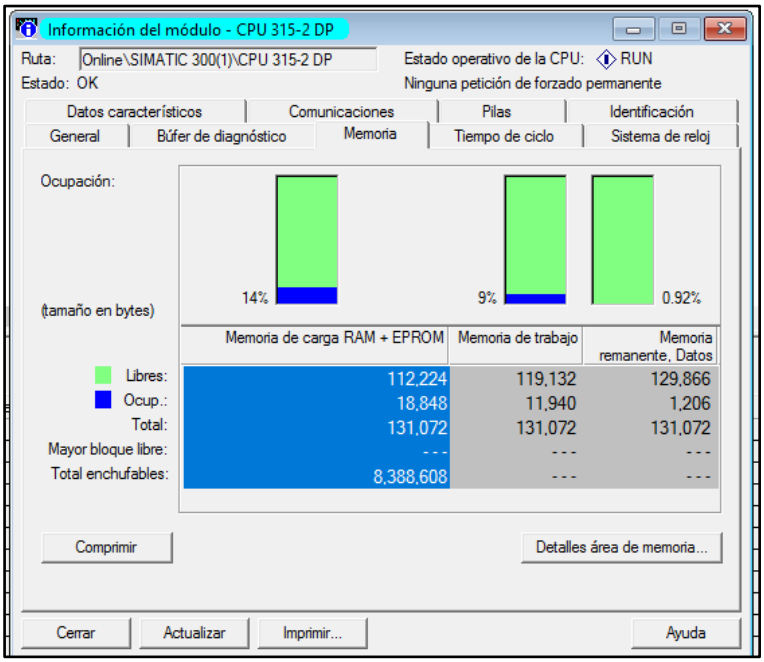


Figura 37 **Memoria de PLC Siemens.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Sintonización e implementación de los lazos de control PID para la regulación automática del flujo de material crudo y agua durante el proceso de dosificación. En la figura 38 se muestra el inicio de la dosificación.



Figura 38 **Pantalla Tendencia de material SCADA.** Fuente. Elaboración propia

Integración del sistema de control con la estación de ingeniería de planta mediante Ethernet Industrial, como se muestra en la Figura 39, facilitando labores de monitoreo en tiempo real, diagnóstico de fallas y mantenimiento del sistema de control.

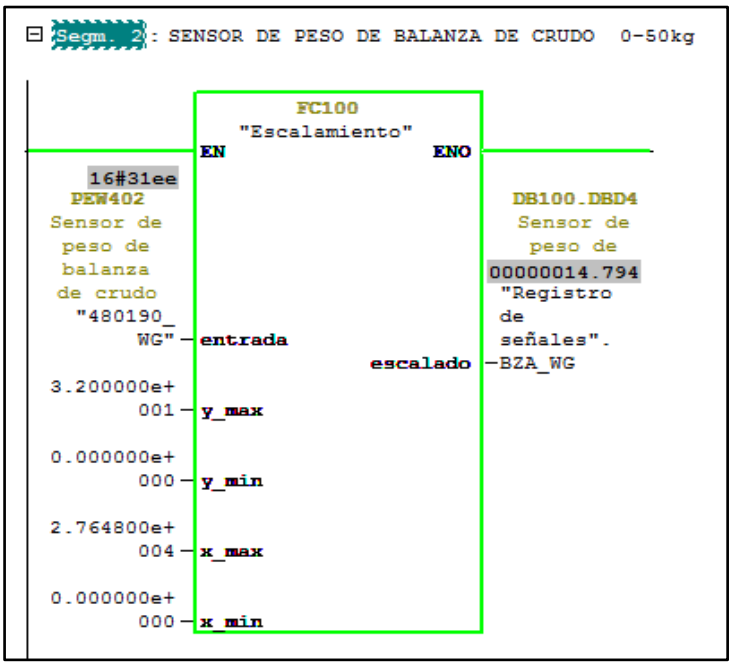


Figura 39 **Monitoreo de programa de PLC en tiempo real.** Fuente. Software Simatic Manager Step7

Integración del nuevo sistema de control con la red industrial existente en planta, basada en comunicación Ethernet Industrial.

Estandarización del inventario de repuestos de sistema de automatización mediante la homologación de equipos de una misma marca tecnológica.

Se logró mejorar la disponibilidad del Horno Vertical N°1, superando la meta establecida del 94%, tal como se muestra en la Figura 40.

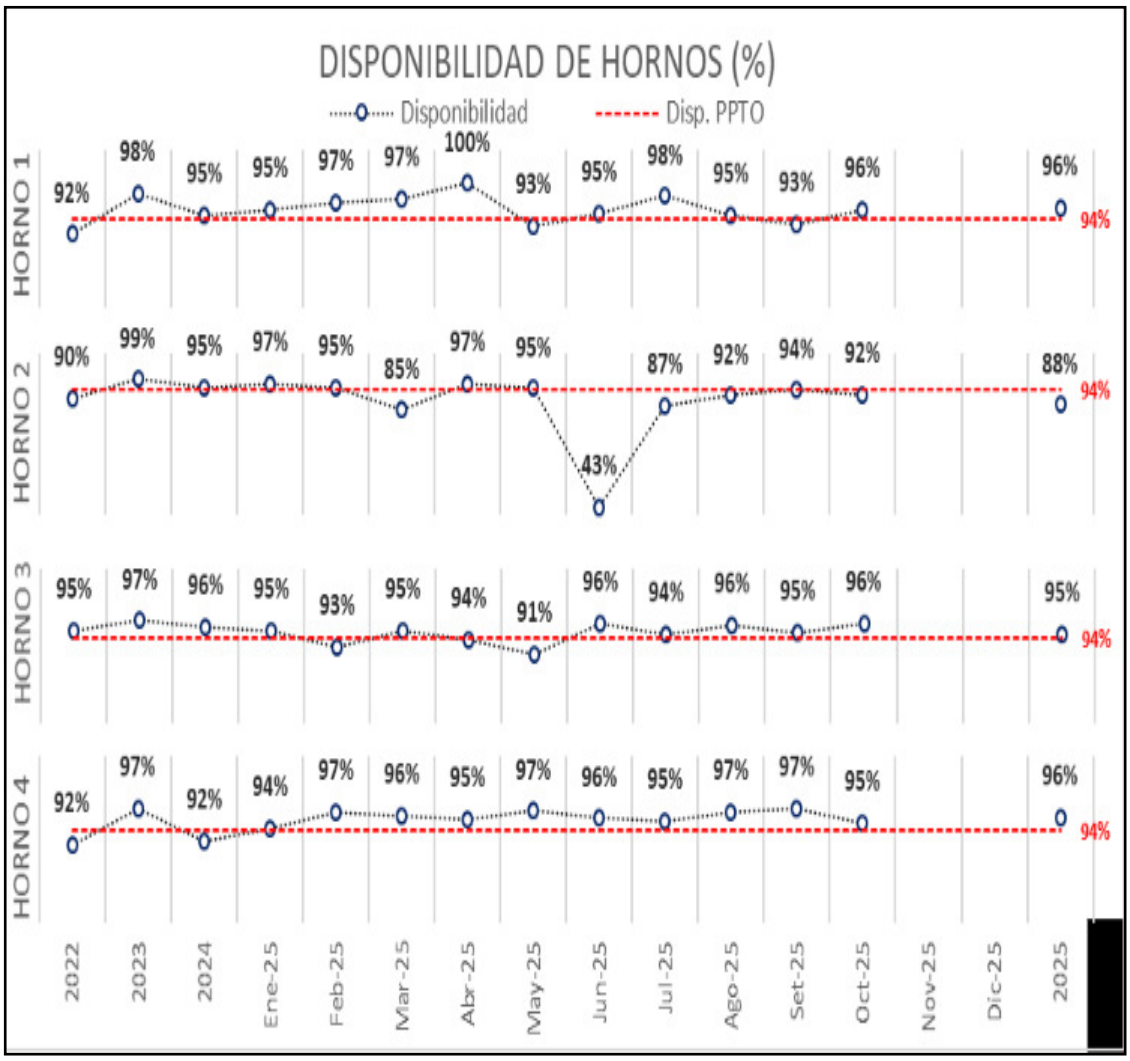


Figura 40 **Indicadores de disponibilidad de Hornos.** Fuente. Adaptado de *Presentación de indicadores del Área de Mantenimiento, 2025.*

CAPÍTULO IV:
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Descripción de la implementación

La migración del hardware del sistema de control permitió incrementar la confiabilidad y disponibilidad del proceso, debido a la implementación de equipos de nueva generación con mayores capacidades de procesamiento y comunicación superando las limitaciones derivadas de la obsolescencia tecnológica.

La implementación y sintonización de los lazos de control PID permitieron automatizar y estabilizar la regulación del flujo de material crudo y agua. Esto contribuyo a mejorar la estabilidad operativa y asegurar una adecuada formación de pellets obteniendo una mejor calidad en el proceso.

La integración del sistema SCADA y el desarrollo de una interfaz HMI, permitió mejorar la supervisión y operación del proceso en tiempo real. Esto facilito al operador visualizar las variables de proceso, estado operativo de los equipos y las alarmas, contribuyendo a una respuesta rápida ante eventos operativos.

La reducción de las paradas imprevistas de operación evidencio una mejora en la confiabilidad del sistema de automatización, debido a la eliminación fallas recurrentes en el PLC. Esto permitió garantizar una mayor continuidad operativa y disminuir tiempos improductivos por intervención de mantenimiento.

La integración del sistema de control a la red industrial existente contribuyo a mejorar la conectividad y el intercambio de información entre los dispositivos de control, el sistema SCADA y los dispositivos de comunicación, facilitando futuras implementaciones e integraciones dentro de la arquitectura de automatización de planta.

La integración del sistema de control con la estación de ingeniería permitió facilitar las labores de mantenimiento, mejorando el acceso a la lógica de control y a la configuración del hardware, reduciendo los tiempos de intervención y optimizando las labores del soporte técnico.

La estandarización del inventario de repuestos mediante el uso de una misma marca tecnológica permitió simplificar la gestión de mantenimiento y disponibilidad de repuestos en planta. Esto contribuyo a reducir tiempos de reposición y mejorar la compatibilidad entre los componentes del sistema de automatización.

La mejora de la disponibilidad operativa del Horno Vertical N°1 evidencia el impacto positivo de la migración del sistema de control. La reducción de fallas asociadas al PLC y a las comunicaciones industriales permitió disminuir las paradas imprevistas del proceso, asegurando una mayor continuidad operativa y estabilidad en la producción.

4.2 Evaluación económica

La evaluación económica del proyecto se realizó para cuantificar los beneficios obtenidos tras la migración del sistema de control. En este análisis se consideró la inversión del proyecto, como se muestra en la Tabla 8, el cual incluye los costos de adquisición de equipos, desarrollo de ingeniería, instalación y puesta en marcha, así como los beneficios derivados como la mayor disponibilidad operativa y la reducción de paradas no programadas.

Inversión del proyecto

Tabla 8 **Costo de la implementación**

Concepto	**Costo (S/.)**
Equipos de automatización (PLC, módulos I/O, HMI, switch industrial, transmisores)	58,000.00
Ingeniería y programación	5,000.00
Instalación y cableado	2,600.00
Configuración y puesta en marcha	2,400.00
Inversión total	68,000.00

Fuente. Elaboración propia

Para este análisis se consideró los siguientes datos operativos mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9 **Datos operativos**

Parámetro	**Valor**	**Unidad**
Producción de clínker	4.1	t/h
Costo de producción de clínker	270	Soles/t
Paradas por falla de PLC antes de la migración	9	h/mes
Paradas por falla de PLC después de la migración	0	h/mes
Inversión total	68,000	S/.

Fuente. Elaboración propia

La producción recuperada mensual se calculó de la siguiente manera:

Producción recuperada=Producción por hora x Horas de paradas evitadas

Producción recuperada= 4.1t/h x 9h/mes=36.9h/mes

Luego se determinó el beneficio económico mensual:

Beneficio económico mensual = Producción recuperada x Costo por tonelada

Beneficio económico mensual = 36.9t/mes x S/. 270/t= S/. 9,963

El beneficio económico anual se determinó de la siguiente manera:

Beneficio económico anual = S/. 9,963 x 12 = S/. 119,556

Finalmente, se calculó el periodo de recuperación de la inversión:

Playback = Inversión total/beneficio económico anual = S/.68,000 / S/.119,556

Playback = 0.57 años = 7 meses

Tabla 10 **Resultados de la evaluación económica**

Concepto	**Unidad**
Producción recuperada mensual	36.9 t/mes
Beneficio económico mensual	S/. 9,963
Beneficio económico anual	S/. 119,556
Inversión del proyecto	S/. 68,000
Periodo de recuperación	7meses

Fuente. Elaboración propia

Los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 10, demuestran que la migración del sistema de control eliminó las paradas operativas asociadas a fallas del PLC, recuperando aproximadamente 36.9 toneladas de clínker por mes. Esto equivale a un beneficio económico anual de S/. 119,556. Asimismo, considerando una inversión total de S/. 68,000, el periodo de recuperación es de aproximadamente 7 meses.

En este contexto, la migración del sistema de control implementada mejoró la disponibilidad operativa y la mantenibilidad del sistema, además de generar beneficios económicos para la planta. Estos resultados evidencian la viabilidad técnica y económica justificando la ejecución del proyecto.

CAPITULO V:
CONCLUSIONES

- Se logró ejecutar con éxito la migración del sistema de control del Horno Vertical N°1, mediante el reemplazo de la plataforma de automatización existente por una nueva solución basada en tecnología Siemens, permitiendo actualizar la arquitectura de control y reducir los riegos asociados a la obsolescencia tecnológica.
- La adaptación e implementación de la lógica de control, incluyendo los lazos de control PID en el nuevo PLC, permitió mantener la continuidad funcional del proceso de clinkerizacion, garantizando una operación estable y confiable del Horno Vertical.
- La integración del PLC, el panel HMI, el sistema SCADA y la red de comunicación industrial permitió mejorar las capacidades de supervisión, diagnóstico y monitoreo del proceso, facilitando las labores de operación y mantenimiento.
- La modernización del sistema de control permitió mejorar la disponibilidad operativa del Horno Vertical N°1, eliminando las paradas no programadas asociadas a fallas del PLC, asegurando la continuidad operativa del proceso.
- La evaluación económica demostró la viabilidad del proyecto, logrando un benéfico económico anual de S/.119,556 y un periodo de recuperación de aproximadamente siete meses, justificando técnica y económicamente la ejecución de la migración del sistema de control.

CAPÍTULO VI:
RECOMENDACIONES

- Realizar copias de seguridad del programa del PLC, proyecto HMI y configuración del SCADA cada 6 meses o después de alguna modificación realizada en el sistema, con el fin de garantizar una rápida recuperación ante fallas o perdida de configuración.
- Monitorear periódicamente los indicadores de disponibilidad, rendimiento y mantenibilidad del sistema de control, con la finalidad de evaluar el desempeño de la migración e identificar oportunidades de mejora.
- Mantener actualizada la documentación técnica del sistema de control, incluyendo programas, planos eléctricos y arquitectura de red, con el propósito de facilitar futuras ampliaciones y las actividades de mantenimiento.
- Ejecutar actividades de mantenimiento preventivo a los equipos de automatización y dispositivos de la red industrial, incluyendo la verificación de los módulos entradas y salidas, fuente de alimentación y equipos de comunicación.

CAPITULO VII:
REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

ABB. (s. f.). Soluciones ABB en automatización y control para la industria de cementos. ABB.

Abdul, W., Rößler, C., Kletti, H., Mawalala, C., Pisch, A., Bannerman, M. N., & Hanein, T. (2025). On the variability of industrial Portland cement clinker: Microstructural characterisation and the fate of chemical elements. Cement and Concrete Research, 189, 107773. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107773

AGV Robotics. (s. f.). Obsolescencia tecnológica en automatización industrial. https://agvrobotics.es/obsolescencia-tecnologica-en-automatizacion-industrial/

Anselm, W. (1954). Altura de los hornos verticales. Últimos Avances. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (CSIC).

Apoyo & Asociados. (2024, febrero). *Sector Cementos 2024*-02 [Informe sectorial]. Apoyo & Asociados Internacionales S.A.C. https://www.aai.com.pe/wp-content/uploads/2024/03/Sector-Cementos-2024-02.pdf

Apoyo & Asociados. (2024, noviembre). *Cementos Pacasmayo Set 24* [Informe de clasificación]. Apoyo & Asociados Internacionales S.A.C. https://www.aai.com.pe/wp-content/uploads/2024/11/Cementos-Pacasmayo-Set-24.pdf

Apoyo & Asociados Internacionales S.A.C. (2025). *Cementos Pacasmayo S.A.A. y Subsidiarias: Reporte de clasificación – Mayo 2025*. https://www.aai.com.pe/wp-content/uploads/2025/05/Cementos-

Pacasmayo-Dic-24.pdf

Awad, R. A., Rais, M. H., Rogers, M., Ahmed, I., & Paquit, V. (2023). *Towards generic memory forensic framework for programmable logic controllers*. Forensic Science International: Digital Investigation, 44, 301513. https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2023.301513

Baldenebro López, A. (2015). *Instrumentación industrial* (Unidad 1). Instituto Tecnológico de Chihuahua.

B-Secure. (s. f.). *Riesgos de la obsolescencia tecnológica para las organizaciones*. https://www.b-secure.co/blog/riesgos-de-la-obsolescencia-tecnologica-para-las-organizaciones

CJS Automation. (s. f.). *What is the Siemens automation parts life cycle?* https://www.cjsautomation.com/es/what-is-the-siemens-automation-parts-life-cycle/

Enrique, F. B. L. (2015, 7 noviembre). *Mejoramiento tecnológico de una balanza dinámica basada en un sistema embebido*. http://hdl.handle.net/20.500.12404/6387

Guerrero, V., Yuste, R., & Martinez, L. (2009). *Comunicaciones industriales*. Marcombo Sa.

Huawei Technologies Co., Ltd., China Academy of Information and Communications Technology, Instrumentation Technology and Economy Institute, & Shenyang Institute of Automation of the Chinese Academy of Sciences. (2024). *Striding towards the intelligent world: Fully connected industrial networks*.

Hurtado, J. M. (n.d.). Introducción a las Redes de Comunicación Industrial. In *Departamento De Electricidad-Electrónica. I.E.S. Himilce - Linares* (p. 2).

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2025). *Avance coyuntural de la actividad económica N.º julio-2025*.

https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/6918216-avance-coyuntural-de-la-actividad-economica-n-julio-2025

Interpesaje. (2025, 17 marzo). *Báscula Dinámica | Báscula para banda | Interpesaje*. https://pesaje.com/bascula-para-banda/

Kaddatz, K.T., Rasul, M.G., & Rahman, A. (2013). Alternative fuels for use in cement kilns: process impact modelling. *Procedia Engineering, 56*, 413–420. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.141

Mittal, M. (2023). *From data collection to decision making: The role of SCADA systems and PLCs in utility industry data analytics*. International Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET), 14(5), 11–24. https://doi.org/10.34218/IJEET_14_05_002

Moncayo, J. (2010). *Diseño de un sistema de medición de pesaje dinámico para empresas de agregados asfálticos* (Capítulo II: Marco teórico) [Trabajo de grado].

Obele, A. F., Aikhuele, D. O., & Nwosu, H. U. (2024). *A review of components of reliability for the evaluation of Programmable logic controller*. *World Journal of Electrical and Electronic Engineering, 3*(1), 6–23. https://www.scipublications.com/journal/index.php/WJEEE/article/view/928

Okonkwo, P. C., & Adefila, S. S. (2012). Strategies for operations of vertical shaft kilns. International Journal of Applied Science and Technology, 2(2), 93–99.

Pardo Chamorro, G., Toro, H., Tecnología en mecánica industrial, Universidad ECCI, & Tecnología en mecánica industrial, Universidad ECCI. (n.d.). *PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL*. https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1874/Informe%20de%20seminario.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pérez-López, E. (2015). *Los sistemas SCADA en la automatización industrial*. Tecnología en Marcha, 28(4), 3–14.

https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5280242

PLC Technician. (2018, October 19). *5 important uses of PLCs in manufacturing*. https://www.plctechnician.com/news-blog/5-important-uses-plcs-manufacturing

Qualitrol International. (s. f.). *7 steps to a successful PLC migration*. Qualitrol International, a division of CIMTEC Automation

Rockwell Automation. (s. f.). *1747-L541 | Allen-Bradley SLC 5/04 16K controller*. Recuperado el 30 de octubre de 2025, de https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/details.1747-L541.html#documentation

Rockwell Automation. (2022). *Revolucione su negocio con mejores datos y procesos conectados* (Publicación IMC-BR005C-ES-P).

Rockwell Automation. (s. f.). *Product lifecycle status*. https://www.rockwellautomation.com/es-mx/support/product/product-compatibility-migration/product-lifecycle-status.html

Rockwell Automation. (2022, marzo). *SLC Select Catalogs End of Life with Migration Letter* [Carta de migración]. Recuperado de https://racontrols.pl/wp-content/uploads/2022/06/SLC-500-Controllers-and-SLC-I_O-Modules-End-of-Life-Migration-Letter-1.pdf

Roessler, D. (2013). Control system migrations: A practical project management handbook. Momentum Press.

Siemens AG. (s. f.). *Descripción del ciclo de vida de producto para los productos SIMATIC HMI (PLM)*. https://support.industry.siemens.com/cs/document/91688124/descripci%C3%B3n-del-ciclo-de-vida-de-producto-para-los-productos-simatic-hmi-(plm)

Siemens AG. (s. f.). *Migration for Automation Systems*. Siemens. https://www.siemens.com/es-mx/products/industrial-sustainability-

services/factory-automation/

Wolde, M. G., Khatiwada, D., Bekele, G., & Palm, B. (2024). A life cycle assessment of clinker and cement production in Ethiopia. Cleaner Environmental Systems, 13, 100180. https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100180

CAPITULO VIII:
ANEXOS

Anexo A Programa Ladder del sistema de control existente

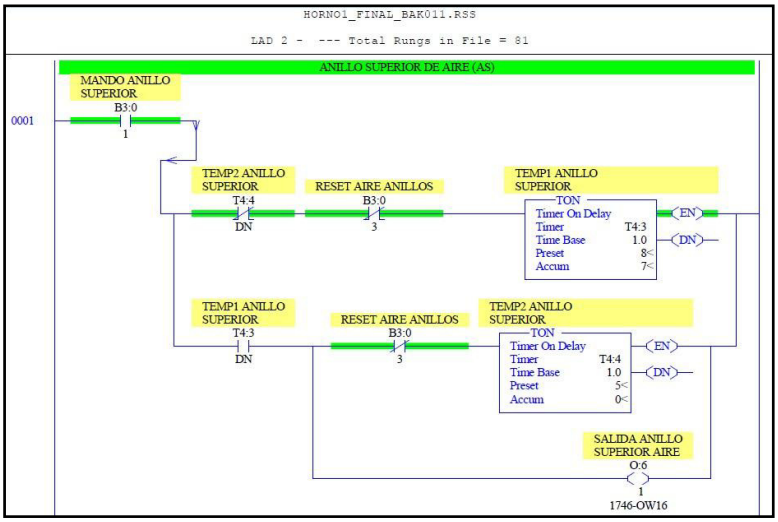


Figura A.1 **Lógica de programación de sistema de fluidificación de anillo superior de aire.** Fuente. Elaboración propia

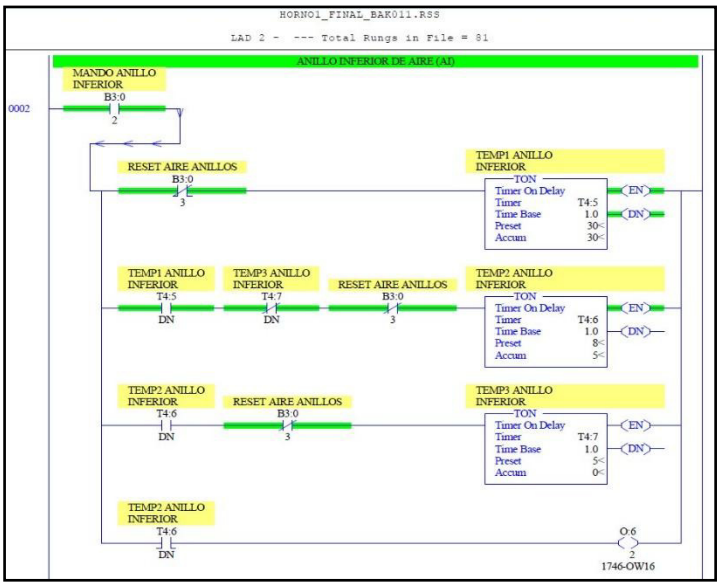


Figura A.2 **Lógica de programación de sistema de fluidificación de anillo inferior de aire.** Fuente. Elaboración propia

Anexo B Planos eléctricos del nuevo sistema de control

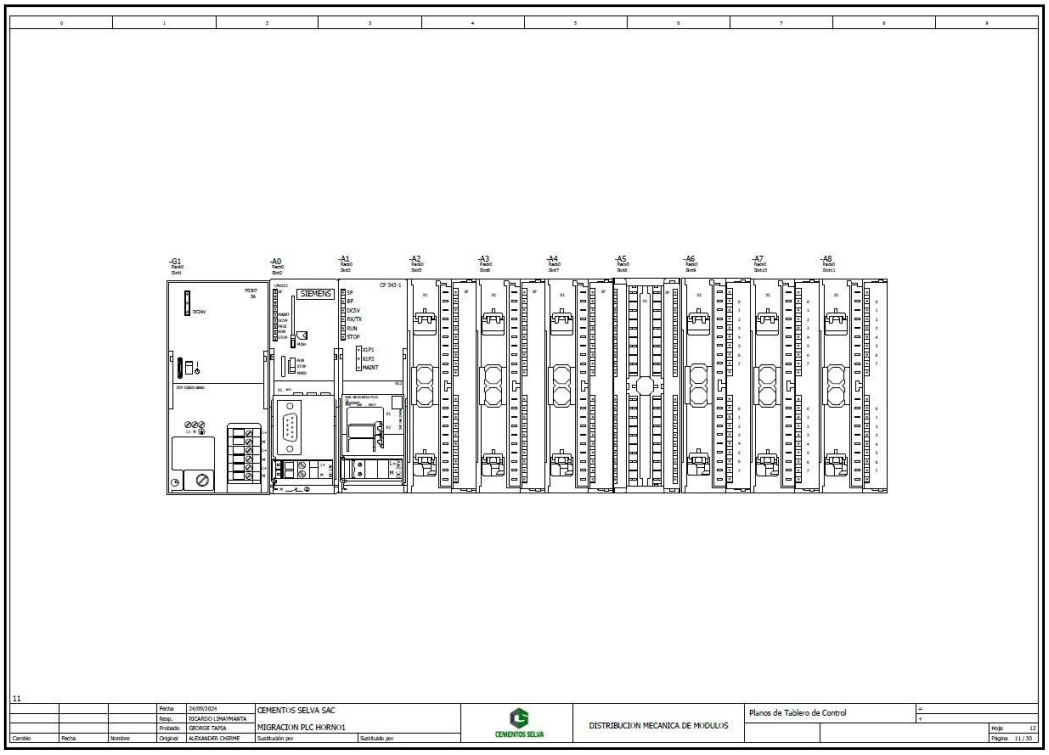


Figura B.1 **Distribución mecánica del sistema de control actual.** Fuente. Elaboración propia

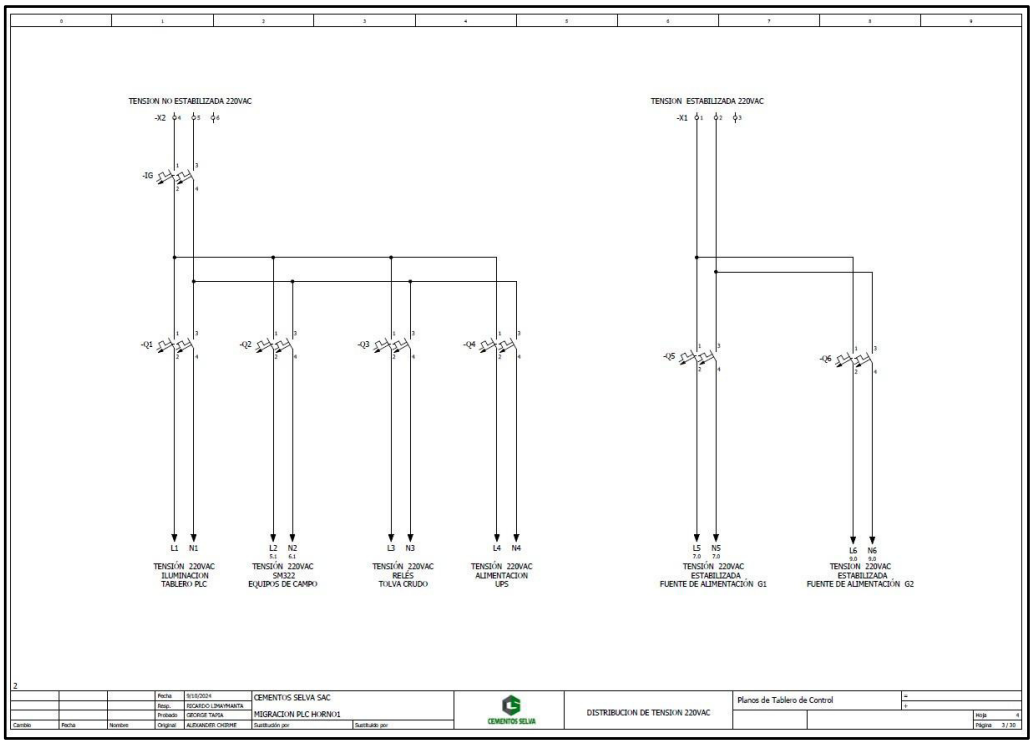


Figura B.2 **Distribución eléctrica del sistema de control actual.** Fuente. Elaboración propia

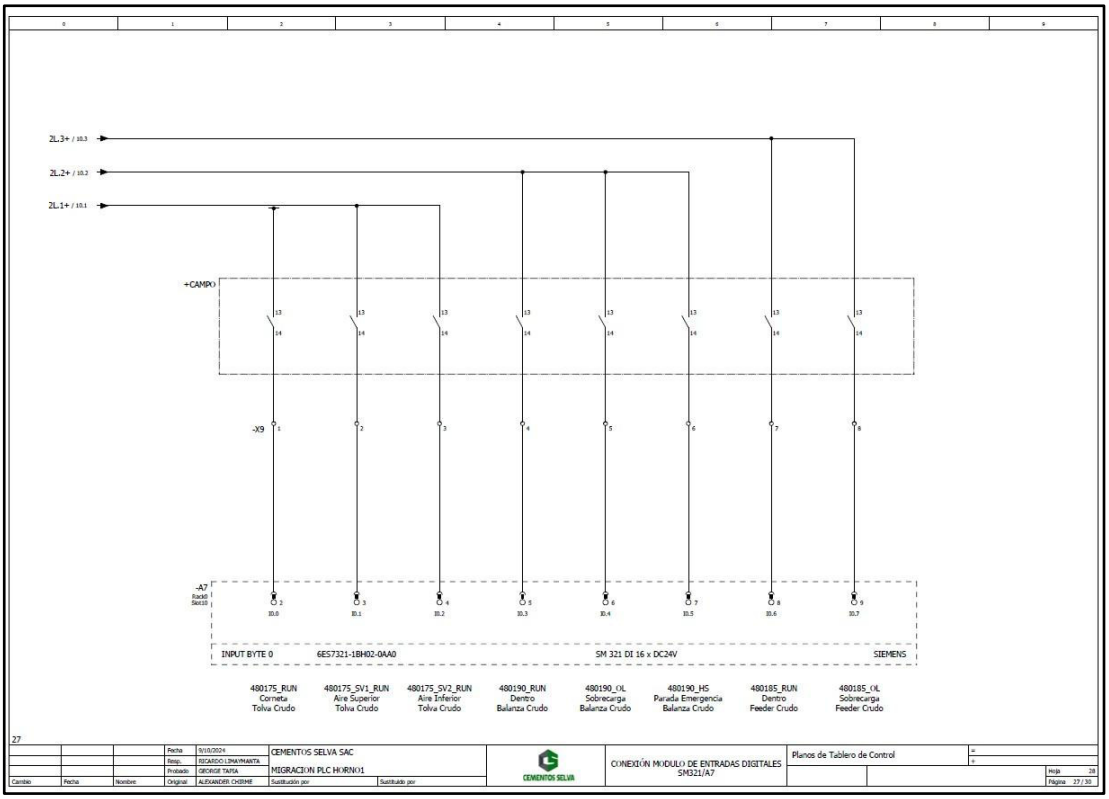


Figura B.3 **Plano eléctrico de módulos de entradas digitales.** Fuente. Elaboración propia

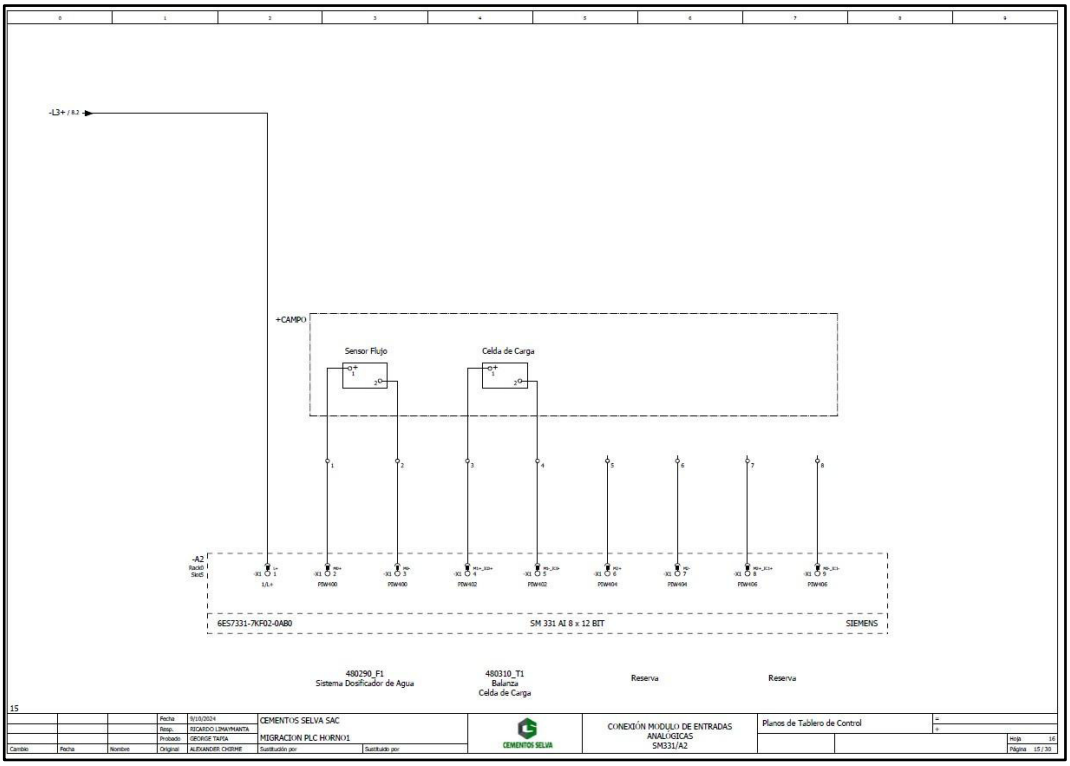


Figura B.4 **Plano eléctrico de módulos de entradas analógicas**. Fuente. Elaboración propia

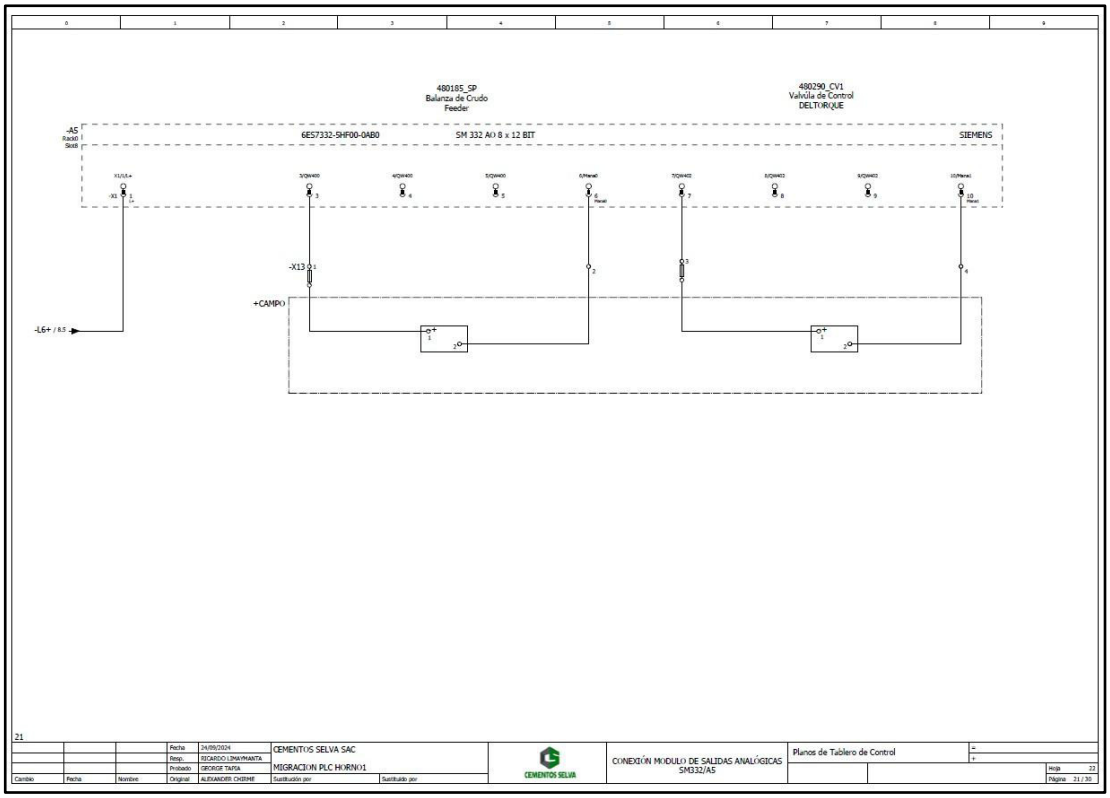


Figura B.5 **Plano eléctrico de módulos de salidas digitales.** Fuente. Elaboración propia

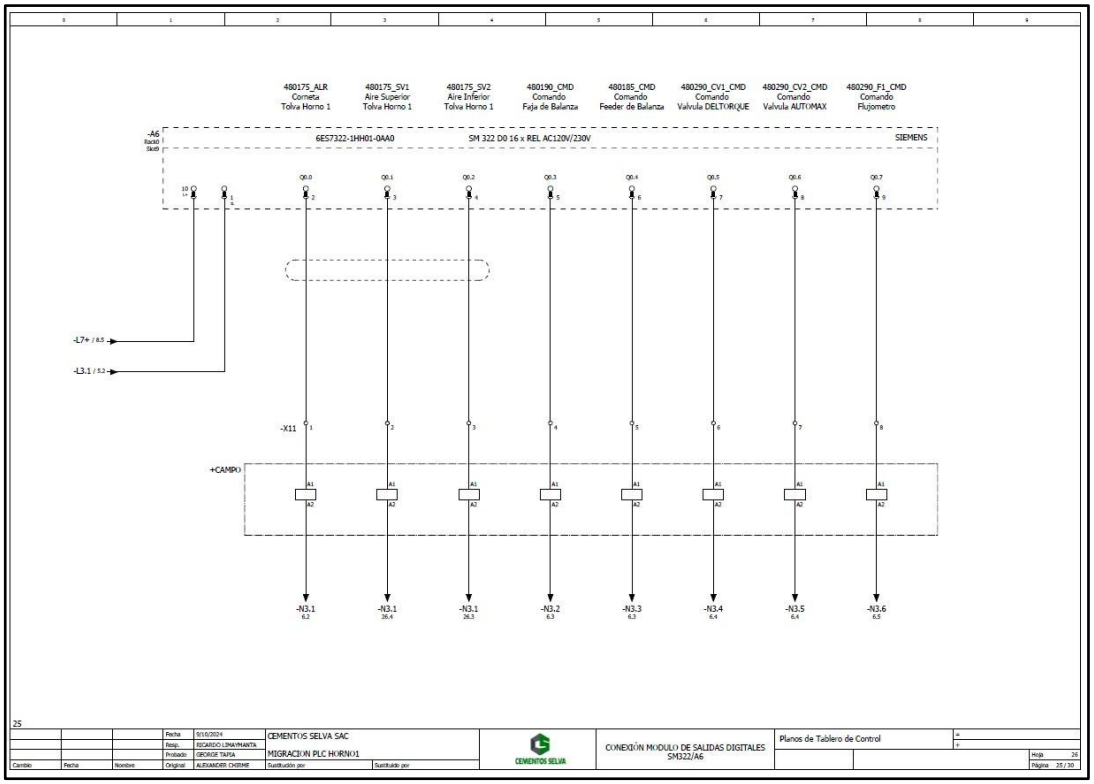


Figura B.6 **Plano eléctrico de módulos de salidas digitales.** Fuente. Elaboración propia

Anexo C Lista de símbolos de PLC Siemens

Editor de símbolos - [S7 Program(1) (Symbols) -- HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315]

Tabla Edición Insertar Ver Herramientas Ventana Ayuda

< Vista filtrada >

	Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
1		480175_RUN	E 0.0	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de corneta de tolva crudo
2		480175_SV1_RUN	E 0.1	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de aire superior
3		480175_SV2_RUN	E 0.2	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de aire inferior
4		480190_RUN	E 0.3	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de balanza de crudo
5		480190_OL	E 0.4	BOOL	Sobrecarga de balanza de crudo
6		480190_HS	E 0.5	BOOL	Parada de emergencia de balanza de crudo
7		480185_RUN	E 0.6	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de feeder
8		480185_OL	E 0.7	BOOL	Sobrecarga de feeder
9		480290_CV1_RUN	E 1.0	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de valvula DELTORQUE
10		480290_CV2_RUN	E 1.1	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de valvula AUTOMAX
11		480290_F1_RUN	E 1.2	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de flujometro
12		480305_RUN	E 1.3	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de faja de pellets
13		480295_RUN	E 1.4	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de disco de pellets
14		480290_RUN	E 1.5	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de mezcladora
15		480240_RUN	E 1.6	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de elevador
16		480235_RUN	E 1.7	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de tornillo
17		480385_RUN	E 2.0	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de vibrador
18		480370_RUN1	E 2.1	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de ejevertical der
19		480370_RUN2	E 2.2	BOOL	Confirmacion de funcionamiento de ejevertical izq
20		480175_LSL	E 2.3	BOOL	Nivel Bajo Tolva Horno1
21		480175_LSH	E 2.4	BOOL	Nivel Alto Tolva Horno1
22		RESERVABIT3	E 2.5	BOOL	Reserva de entrada digital
23		RESERVABIT4	E 2.6	BOOL	Reserva de entrada digital
24		RESERVABIT5	E 2.7	BOOL	Reserva de entrada digital
25		RESERVABIT6	E 3.0	BOOL	Reserva de entrada digital
26		RESERVABIT7	E 3.1	BOOL	Reserva de entrada digital
27		RESERVABIT8	E 3.2	BOOL	Reserva de entrada digital
28		RESERVABIT9	E 3.3	BOOL	Reserva de entrada digital
29		RESERVABIT10	E 3.4	BOOL	Reserva de entrada digital
30		RESERVABIT11	E 3.5	BOOL	Reserva de entrada digital
31		RESERVABIT12	E 3.6	BOOL	Reserva de entrada digital
32		RESERVABIT13	E 3.7	BOOL	Reserva de entrada digital

Figura C.1 **Lista de símbolos de las entradas digitales.** Fuente. Elaboración propia

Editor de símbolos - [S7 Program(1) (Symbols) -- HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315]

Tabla Edición Insertar Ver Herramientas Ventana Ayuda

< Vista filtrada >

	Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
1		480175_ALR	A 0.0	BOOL	Comando de arranque corneta por tolva llena
2		480175_SV1	A 0.1	BOOL	Comando de arranque sistema de fluidificacion superior
3		480175_SV2	A 0.2	BOOL	Comando de arranque sistema de fluidificacion inferior
4		480190_CMD	A 0.3	BOOL	Motor faja de balanza de crudo
5		480185_CMD	A 0.4	BOOL	Motor feeder de balanza
6		480290_CV1_CMD	A 0.5	BOOL	Comando de valvula de control DELTORQUE
7		480290_CV2_CMD	A 0.6	BOOL	Comando de valvula de control AUTOMAX
8		480290_F1_CMD	A 0.7	BOOL	Comando deflujometro SIEMENS
9		480MCC2_STR	A 1.0	BOOL	Activacion de secuencia de alimentacion de crudo
10		480MCC2_STP	A 1.1	BOOL	Desactivacion de secuencia de alimentacion de crudo
11		RESERVABIT14	A 1.2	BOOL	Reserva de salida digital
12		RESERVABIT15	A 1.3	BOOL	Reserva de salida digital
13		RESERVABIT16	A 1.4	BOOL	Reserva de salida digital
14		RESERVABIT17	A 1.5	BOOL	Reserva de salida digital
15		RESERVABIT18	A 1.6	BOOL	Reserva de salida digital
16		RESERVABIT19	A 1.7	BOOL	Reserva de salida digital
17					

Figura C.2 **Lista de símbolos de las salidas digitales.** Fuente. Elaboración propia

Editor de símbolos - [S7 Program(1) (Symbols) -- HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315]

Tabla Edición Insertar Ver Herramientas Ventana Ayuda

< Vista filtrada >

	Estado	Símbolo	Direcció	Tipo de dato	Comentario
1		480290_F1	PEW 400	WORD	Sensor de flujo de agua mezcladora
2		480190_WG	PEW 402	WORD	Sensor de peso de balanza de crudo
3		RESERVA1	PEW 404	WORD	Reserva de entrada analogica
4		RESERVA2	PEW 406	WORD	Reserva de entrada analogica
5		480310_T1	PEW 408	WORD	Temperatura anillo inferior zona 1
6		480310_T2	PEW 410	WORD	Temperetura anillo inferior zona 2
7		480310_T3	PEW 412	WORD	Temperetura anillo inferior zona 3
8		480310_T4	PEW 414	WORD	Temperetura anillo inferior zona 4
9		480310_T5	PEW 416	WORD	Temperetura anillo inferior zona 5
10		480310_T6	PEW 418	WORD	Temperetura anillo inferior zona 6
11		480310_T7	PEW 420	WORD	Temperetura anillo superior zona 1
12		480310_T8	PEW 422	WORD	Temperetura anillo superior zona 2
13		480310_T9	PEW 424	WORD	Temperetura anillo superior zona 3
14		480310_T10	PEW 426	WORD	Temperetura anillo superior zona 4
15		480310_T11	PEW 428	WORD	Temperetura anillo superior zona 5
16		480310_T12	PEW 430	WORD	Temperetura anillo superior zona 6
17		480310_T13	PEW 432	WORD	Temperetura gases chimenea lado A
18		480310_T14	PEW 434	WORD	Temperetura gases chimenea lado B
19		480395_T1	PEW 436	WORD	Temperetura de aceite blower
20		480395_P1	PEW 438	WORD	Presion principal blower
21		480395_P2	PEW 440	WORD	Presion secundaria anillo horno1
22		480255_T1	PEW 442	WORD	Temperetura de gases ingreso filtro mangas prinicpal
23		480255_T2	PEW 444	WORD	Temperetura de gases salida filtro mangas prinicpal
24		480255_Pd	PEW 446	WORD	Presion diferencial filtro de mangas prinicpal
25					

Figura C.3 **Lista de símbolos de las entradas analógicas.** Fuente. Elaboración propia

Editor de símbolos - [S7 Program(1) (Symbols) -- HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315]

Tabla Edición Insertar Ver Herramientas Ventana Ayuda

< Vista filtrada >

	Estado	Símbolo	Direcció	Tipo de dato	Comentario
1		480185_SP	PAW 400	WORD	Señal de control 4-20mA de Variador Feeder Balanza de crudo
2		480290_CV1	PAW 402	WORD	Señal de control 4-20mA de valvula DELTORQUE
3		480290_CV2	PAW 404	WORD	Señal de control 4-20mA de valvula AUTOMAX
4		RESERVA3	PAW 406	WORD	Reserva de salida analogica
5					

Figura C.4 **Lista de símbolos de las salidas analógicas.** Fuente. Elaboración propia

Anexo D Programación de PLC Siemens actual

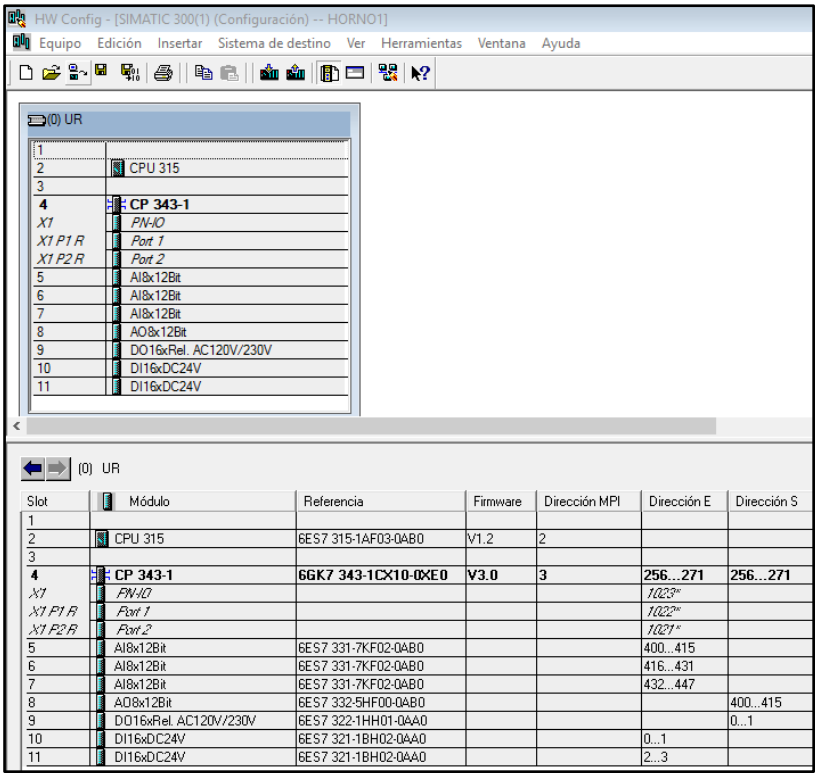


Figura D.1 **Configuración de Hardware PLC Siemens.** Fuente. Elaboración propia

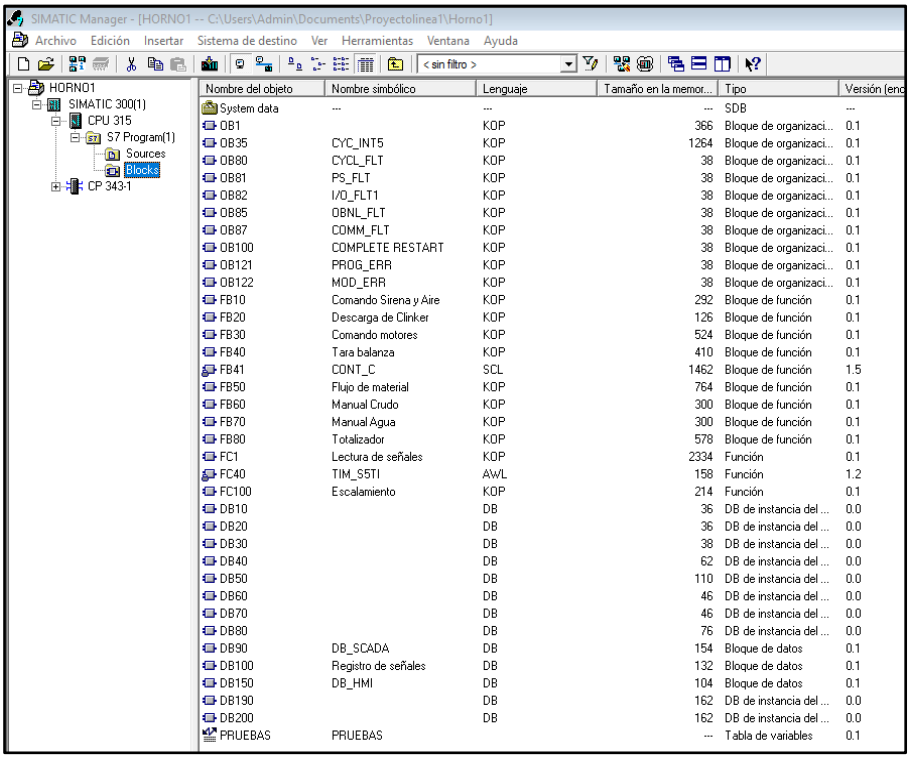


Figura D.2 **Bloque de programas PLC Siemens.** Fuente. Elaboración propia

SIMATIC HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315\...\OB1 - <offline> 29/10/2025 16:17:46

OB1 - <offline>

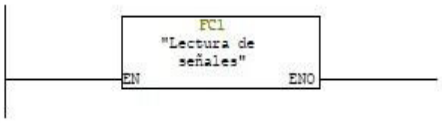
""

Nombre: **Familia:**
Autor: **Versión:** 0.1
Versión del bloque: 2
Hora y fecha Código: 16/10/2024 15:10:01
Interface: 09/10/2024 10:16:26
Longitud (bloque / código / datos): 00464 00330 00026

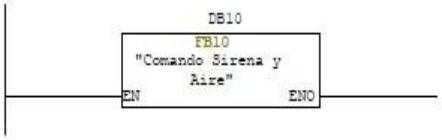
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Bloque: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

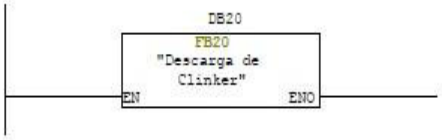
Segm.: 1 Lectura de variables analogicas



Segm.: 2 Activacion de sirena y aire de tolva



Segm.: 3 Descarga de clinker Hornol



Page 1 of 3

Figura D.3 **Bloque de programa OB1 parte1.** Fuente. Elaboración propia

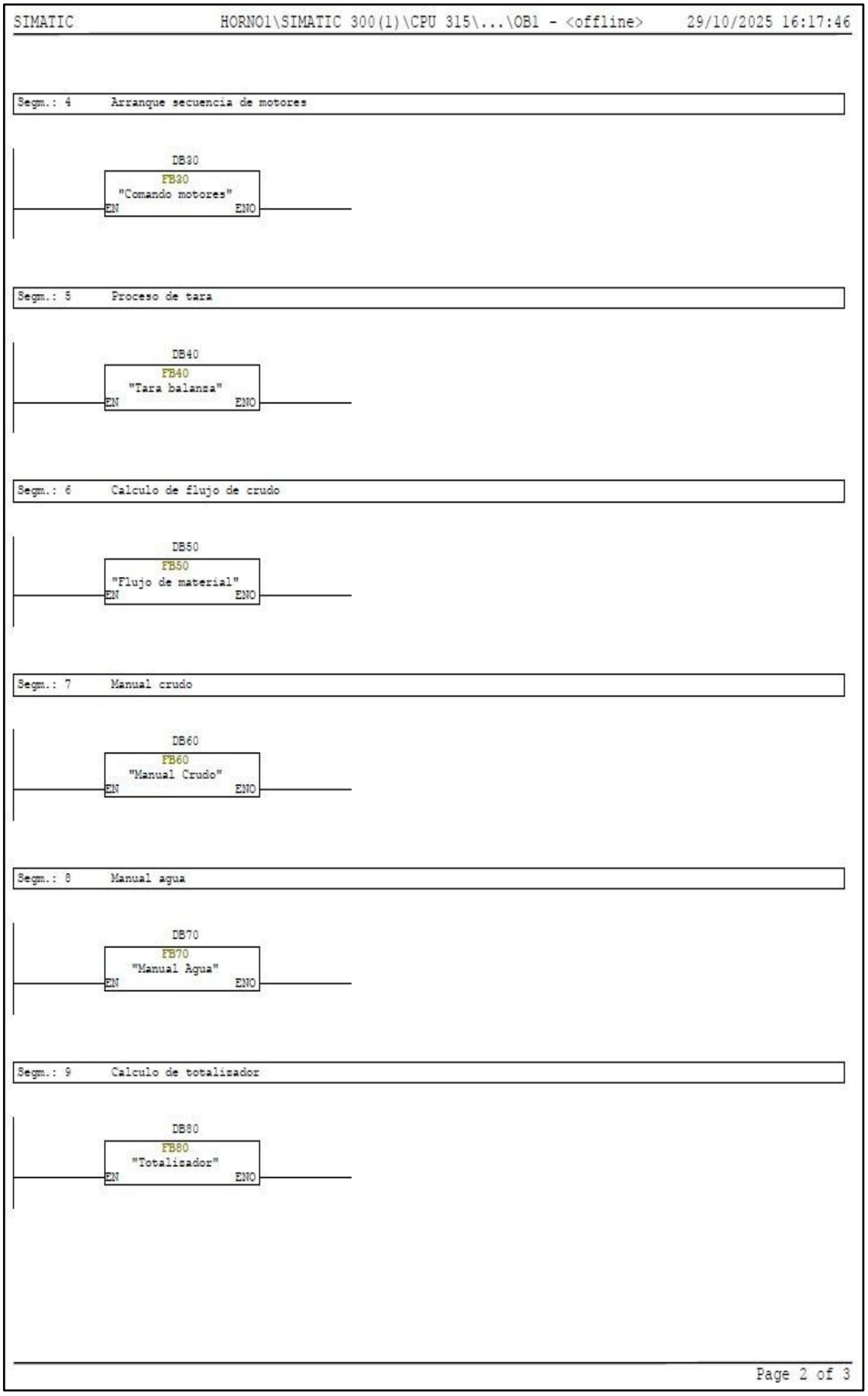


Figura D.4 **Bloque de programa OB1 parte2.** Fuente. Elaboración propia

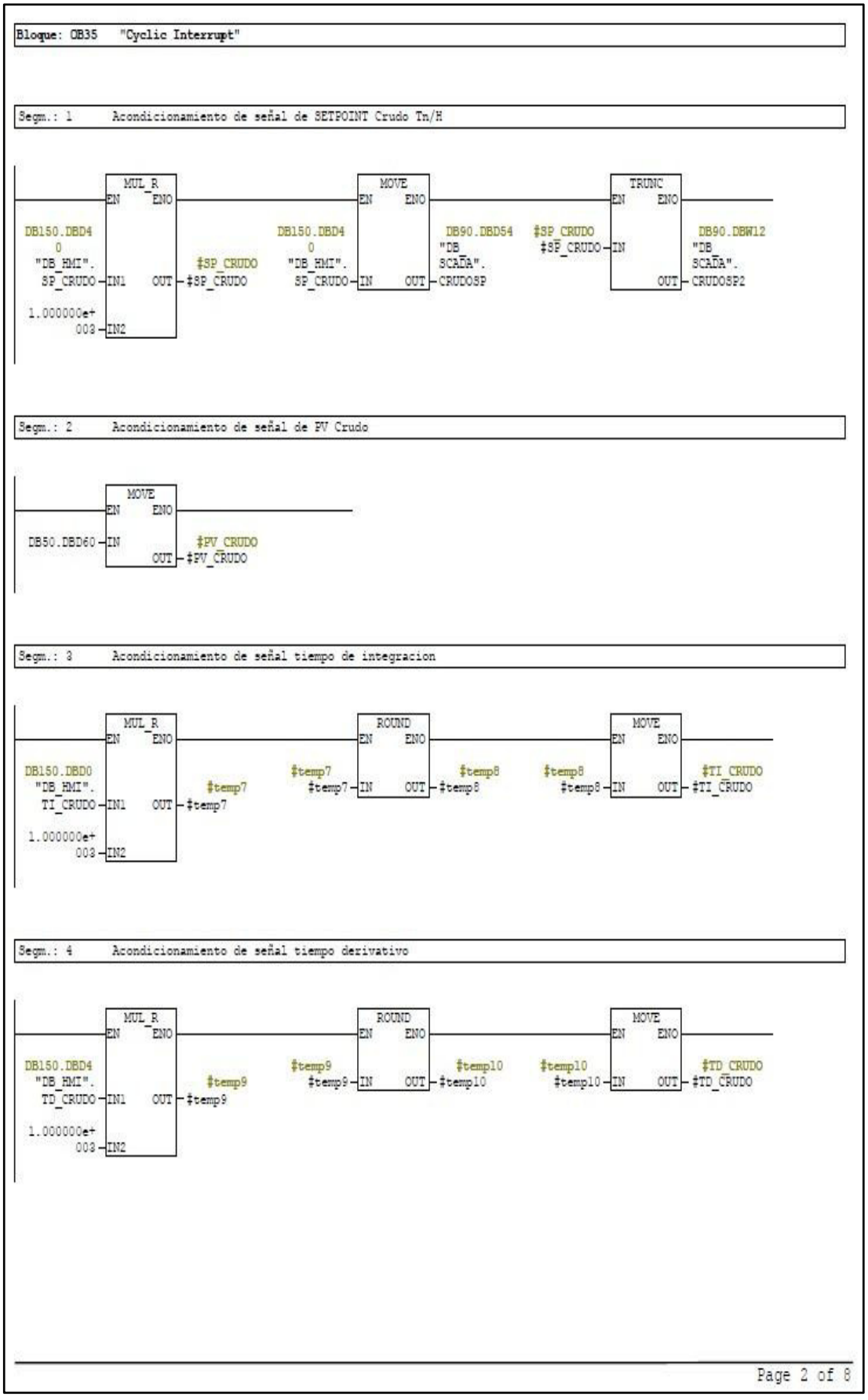


Figura D.5 **Bloque de programa OB35.** Fuente. Elaboración propia

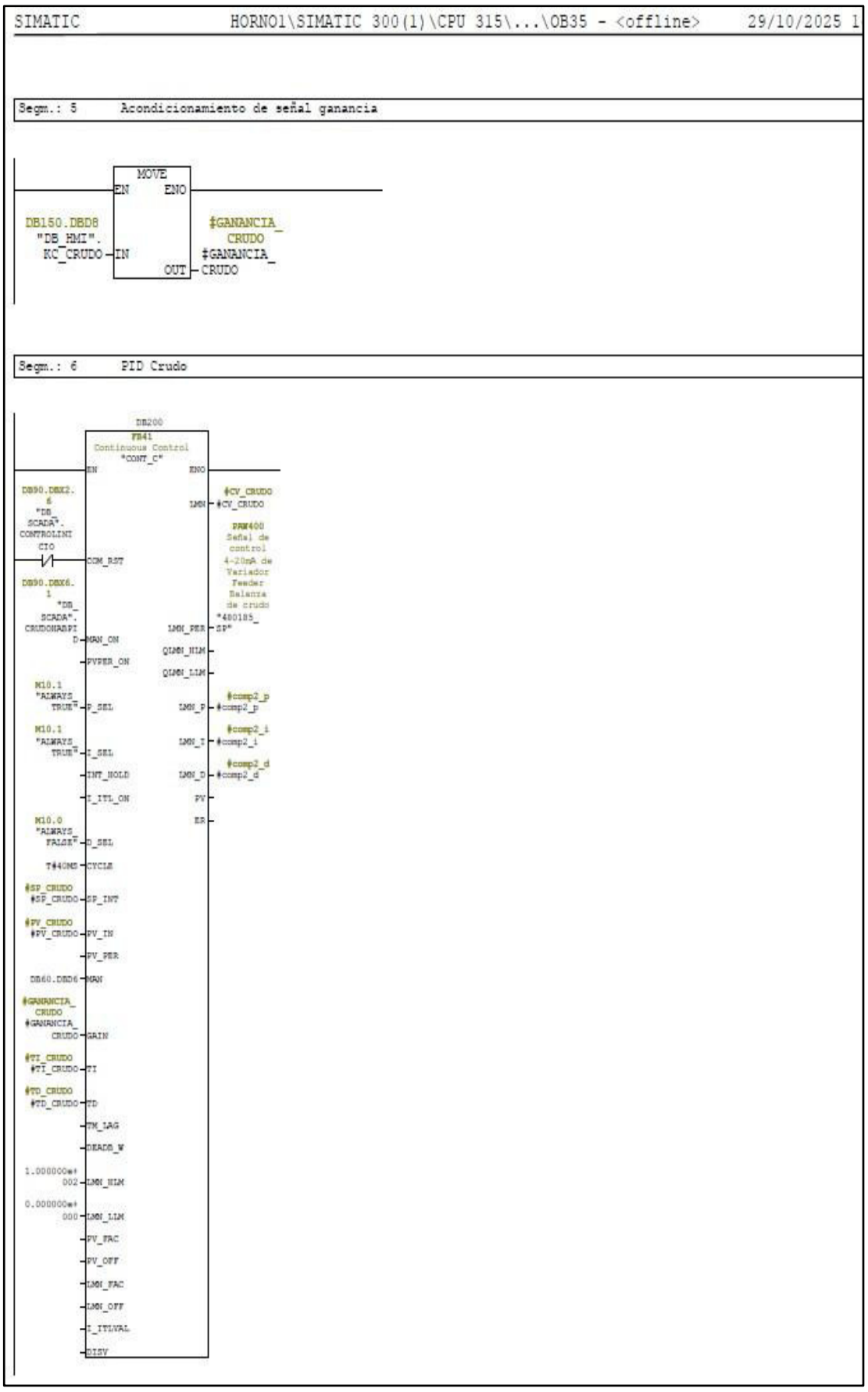


Figura D.6 **Bloque de programa PID en OB35.** Fuente. Elaboración propia

SIMATIC HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315\...\DB100 - <offline> 29/10/2025 16:16:37

DB100 - <offline> - Declaración

"Registro de señales"
DB de datos globales 100

Nombre: **Familia:**
Autor: **Versión:** 0.1
Versión del bloque: 2
Hora y fecha Código: 04/10/2024 19:38:14
Interface: 07/06/2024 12:01:13
Longitud (bloque / código / datos): 00232 00096 00000

Bloque: DB100

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	MEZC_F1	REAL	0.000000e+000	Sensor de flujo agua mezcladora
+4.0	BZA_WG	REAL	0.000000e+000	Sensor de peso de balanza
+8.0	Reserva1	REAL	0.000000e+000	RESERVA ANALOGICA1
+12.0	Reserva2	REAL	0.000000e+000	RESERVA ANALOGICA2
+16.0	HORNO_T1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo inferiorA
+20.0	HORNO_T2	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo inferiorB
+24.0	HORNO_T3	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo inferiorC
+28.0	HORNO_T4	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo inferiorD
+32.0	HORNO_T5	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo inferiorE
+36.0	HORNO_T6	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo inferiorF
+40.0	HORNO_T7	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo superiorA
+44.0	HORNO_T8	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo superiorB
+48.0	HORNO_T9	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo superiorC
+52.0	HORNO_T10	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo superiorD
+56.0	HORNO_T11	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo superiorE
+60.0	HORNO_T12	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura anillo superiorF
+64.0	HORNO_T13	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura gases lado A
+68.0	HORNO_T14	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura gases lado B
+72.0	BLOWER_T1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura aceite blower
+76.0	BLOWER_P1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de presion principal blower
+80.0	BLOWER_P2	REAL	0.000000e+000	Transmisor de presion secundario anillo blower
+84.0	FILTRO_T1	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura ingreso filtro mangas
+88.0	FILTRO_T2	REAL	0.000000e+000	Transmisor de temperatura salida filtro mangas
+92.0	FILTRO_PD	REAL	0.000000e+000	Transmisor de presion diferencial filtro mangas
=96.0		END_STRUCT		

Figura D.7 **Bloque de datos DB100.** Fuente. Elaboración propia

DB150 - <offline> - Declaración

"DB_HMI"
DB de datos globales 150

Nombre: **Familia:**
Autor: **Versión:** 0.1
Versión del bloque: 2
Hora y fecha Código: 10/07/2024 21:13:43
Interface: 10/07/2024 21:13:36
Longitud (bloque / código / datos): 00224 00068 00000

Bloque: DB150

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	TI_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+4.0	TD_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+8.0	KC_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+12.0	TI_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+16.0	TD_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+20.0	KC_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+24.0	VELOCIDAD	REAL	0.000000e+000	
+28.0	LONGITUD	REAL	0.000000e+000	
+32.0	FACTOR_WN	REAL	0.000000e+000	
+36.0	TARA	REAL	0.000000e+000	
+40.0	SP_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+44.0	SP_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+48.0	PV_CRUDO	REAL	0.000000e+000	
+52.0	PV_AGUA	REAL	0.000000e+000	
+56.0	RESERVA1	REAL	0.000000e+000	
+60.0	RESERVA2	REAL	0.000000e+000	
+64.0	CORNETA	BOOL	FALSE	
+64.1	AIRE_S	BOOL	FALSE	
+64.2	AIRE_I	BOOL	FALSE	
+64.3	BALANZA	BOOL	FALSE	
+64.4	FEEDER	BOOL	FALSE	
+64.5	VALV_DELTORQUE	BOOL	FALSE	
+64.6	VALV_AUTOMAX	BOOL	FALSE	
+64.7	FLUJOMETRO	BOOL	FALSE	
+65.0	FAJA_PELLETS	BOOL	FALSE	
+65.1	DISCO_PELLETS	BOOL	FALSE	
+65.2	MEZCL_PELLETS	BOOL	FALSE	
+65.3	ELEVADOR	BOOL	FALSE	
+65.4	TORNILLO	BOOL	FALSE	
+65.5	VIBRADOR	BOOL	FALSE	
+65.6	SIN_DESC	BOOL	FALSE	
+65.7	CON_DESC	BOOL	FALSE	
+66.0	EJE_VERTICAL1	BOOL	FALSE	
+66.1	EJE_VERTICAL2	BOOL	FALSE	
=68.0		END_STRUCT		

Figura D.8 **Bloque de datos DB150.** Fuente. Elaboración propia

SIMATIC HORNO1\SIMATIC 300(1)\CPU 315\...\DB90 - <offline> 29/10/2025 16:15:39

DB90 - <offline> - Declaración

"DB_SCADA"
DB de datos globales 90

Nombre: **Familia:**
Autor: **Versión:** 0.1
Versión del bloque: 2
Hora y fecha Código: 10/08/2024 09:26:21
Interface: 10/07/2024 21:48:11
Longitud (bloque / código / datos): 00382 00118 00000

Bloque: DB90

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	AIRECORNETAOK	BOOL	FALSE	
+0.1	AIREASOK	BOOL	FALSE	
+0.2	AIREAIOK	BOOL	FALSE	
+0.3	CRUDOTIOK	BOOL	FALSE	
+0.4	CRUDOFEEDEROK	BOOL	FALSE	
+0.5	AGUAVALVULA1OK	BOOL	FALSE	
+0.6	AGUAVALVULA2OK	BOOL	FALSE	
+0.7	AGUAFLUJOM1OK	BOOL	FALSE	
+1.0	HORNOFAJADENTRO	BOOL	FALSE	
+1.1	HORNOPLATODENTRO	BOOL	FALSE	
+1.2	HORNOMEZCDENTRO	BOOL	FALSE	
+1.3	HORNOELEVADORDENTRO	BOOL	FALSE	
+1.4	HORNOTORNILLODENTRO	BOOL	FALSE	
+1.5	HORNOVIBRADORDENTRO	BOOL	FALSE	
+1.6	CRUDOTI	BOOL	FALSE	
+1.7	HORNO_SALIDA_INICIO_SEC	BOOL	FALSE	
+2.0	HORNO_SALIDA_FIN_SEC	BOOL	FALSE	
+2.1	AIREMANDOCORNETA	BOOL	FALSE	
+2.2	AIREMANDOAS	BOOL	FALSE	
+2.3	AIREMANDOAI	BOOL	FALSE	
+2.4	CRUDOINIBS1	BOOL	FALSE	
+2.5	CRUDOINIVD0	BOOL	FALSE	
+2.6	CONTROLINICIO	BOOL	FALSE	
+2.7	CRUDOINIVD0OK	BOOL	FALSE	
+3.0	CRUDOHABACC	BOOL	FALSE	
+3.1	CRUDOACUMRESET	BOOL	FALSE	
+3.2	CRUDOPIDINC	BOOL	FALSE	
+3.3	CRUDOPIDDEC	BOOL	FALSE	
+3.4	AGUAPIDINC	BOOL	FALSE	
+3.5	AGUAPIDDEC	BOOL	FALSE	
+3.6	CRUDOPIDINC2	BOOL	FALSE	
+3.7	CRUDOPIDDEC2	BOOL	FALSE	
+4.0	AGUAPIDINC2	BOOL	FALSE	
+4.1	AGUAPIDDEC2	BOOL	FALSE	
+4.2	AGUASELVALVULAPID	BOOL	FALSE	
+4.3	CRUDOTISTART	BOOL	FALSE	
+4.4	CRUDOTISTOP	BOOL	FALSE	
+4.5	CRUDOFEEDSTART	BOOL	FALSE	
+4.6	CRUDOFEEDERSTOP	BOOL	FALSE	
+4.7	AGUAVALV1START	BOOL	FALSE	
+5.0	AGUAVALV1STOP	BOOL	FALSE	
+5.1	AGUAVALV2START	BOOL	FALSE	
+5.2	AGUAVALV2STOP	BOOL	FALSE	
+5.3	AGUAFLUJOMSTART	BOOL	FALSE	
+5.4	AGUAFLUJOMSTOP	BOOL	FALSE	
+5.5	ALARMA1	BOOL	FALSE	
+5.6	ALARMA2	BOOL	FALSE	
+5.7	HORNOSECSTART	BOOL	FALSE	
+6.0	HORNOSECSTOP	BOOL	FALSE	
+6.1	CRUDOHABPID	BOOL	FALSE	
+6.2	AGUAHABIPID	BOOL	FALSE	
+6.3	RESERVA1	BOOL	FALSE	
+6.4	RESERVA2	BOOL	FALSE	
+6.5	RESERVA3	BOOL	FALSE	
+6.6	RESERVA4	BOOL	FALSE	
+8.0	CRUDOBS1OUT	INT	0	

Figura D.9 **Bloque de datos DB90.** Fuente. Elaboración propia