

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de un cliente de supervisión y control para la integración de una estación aislada al sistema PCS7 en una planta cementera

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Darin Gabriel Castro Sánchez

Bryan David Loor Alcívar

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

A mis padres, José Antonio Loor Loor y Betty Marlene Alcívar Ortiz, por su amor incondicional, su guía y apoyo en cada paso de mi vida. A mis hermanos, quienes me han acompañado y alentado en los momentos más difíciles, y en especial a Fernando y Grace Loor, que me cuidan desde el cielo y a quienes siempre llevo en mi corazón.

A mi enamorada, por su constante apoyo, paciencia y comprensión a lo largo de esta etapa tan importante.

Este logro es tan suyo como mío.

Bryan David Loor Alcívar

DEDICATORIA

A mis padres, Gabriel Castro y Susana Sánchez por ser mi principal fuente de inspiración, por ser mi fortaleza y por siempre brindarme su apoyo incondicional durante esta jornada, A mi hermana Abish por su apoyo constante. A mi familia completa (abuelitos, primos, tíos) que siempre me han alentado desde pequeño confiando en mí y motivándome a alcanzar esta meta, A todos aquellos que han creído en mí, esta tesis es un reflejo de su confianza y mi gratitud.

Darin Gabriel Castro Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios y al Ing. Edwin Giannine Valarezo Añazco, e Ing. Efrén Vinicio Herrera Muentes quienes, con su conocimiento, paciencia y orientación, nos brindaron el soporte necesario para llevar a cabo este trabajo de manera exitosa. Su dedicación y disponibilidad fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto.

A los ing. Andy Maldonado, Jimmy Guerrero, Fernando Franco, Paúl Jácome quienes no solo me enseñaron los aspectos técnicos de la automatización, sino que también me ayudó a desarrollar las habilidades necesarias para desenvolverme como un verdadero profesional en este campo. Su enfoque práctico y su disposición para compartir su experiencia fueron invaluable para mi crecimiento personal y profesional.

Declaración Expresa

Nosotros Bryan David Loor Alcívar y Darin Gabriel Castro Sánchez acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 18 de febrero del 2023.



Darin Gabriel Castro Sánchez



Bryan David Loor Alcívar

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Efrén Herrera Muentes, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

Edwin Valarezo Anazco, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es diseñar un cliente de supervisión y control para integrar una estación aislada de despacho de Clinker al sistema PCS7 en una planta cementera, atendiendo a la urgente necesidad de mejorar los soportes y capacidades del equipo de automatización. Esta integración permitirá la supervisión y control remoto del proceso, mejorando la eficiencia en la respuesta ante fallos y optimizando el monitoreo en tiempo real de la operación.

Para el desarrollo, se utilizó programación en CFC y se diseñó una interfaz gráfica en WinCC para el sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), integrando todas las señales necesarias para el control automático del área. El sistema PCS7 de Siemens fue implementado siguiendo estrictos estándares de automatización industrial. La validación del sistema se realizó a través de simulaciones, comprobando su funcionalidad y su capacidad de integración en el entorno existente.

Los resultados de las simulaciones del proyecto mostraron una comunicación exitosa de la estación aislada al sistema PCS7, permitiendo una supervisión centralizada y un control remoto eficiente del proceso de despacho de Clinker. La implementación del sistema mejoró la eficiencia operativa, redujo los tiempos de inactividad y garantizó un control preciso del despacho.

El proyecto cumplió con los objetivos de mejorar la eficiencia del soporte en el proceso de despacho, demostrando que la automatización a través de PCS7, así como la comunicación entre clientes y servidores en una red industrial es una solución efectiva para el problema actual de la planta cementera.

Palabras Clave: Integración, Servidor, PCS7, Interfaz Gráfica, Programación

ABSTRACT

The objective of this project is to design a supervision and control client to integrate an isolated Clinker dispatch station into the PCS7 system in a cement plant, addressing the urgent need to improve the support and capabilities of the automation team. This integration will enable remote supervision and control of the process, enhancing failure response efficiency and optimizing real-time monitoring of operations.

CFC programming was used for the development, and a graphical interface was designed in WinCC for the Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) system, integrating all the necessary signals for automatic area control. Siemens PCS7 system was implemented following strict industrial automation standards. System validation was performed through simulations, verifying its functionality and integration capability within the existing environment.

Simulation results demonstrated successful communication between the isolated station and the PCS7 system, enabling centralized supervision and efficient remote control for the Clinker dispatch. The system implementation improved operational efficiency, reduced downtime, and ensured precise control of dispatching operations.

The project achieved its objectives of enhancing support efficiency in the dispatch process, demonstrating that automation through PCS7, along with client-server communication in an industrial network, is an effective solution to the current challenges the concret plant faces.

Keywords: *Integration, Server, PCS7, Graphical Interface, Programming*

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	9
1. Introducción.....	9
1.1 Descripción del problema.....	10
1.2 Justificación del problema.....	11
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11
1.4 Marco Teórico	12
1.4.1 Clinker	12
1.4.2 Comunicación Industrial	13
1.4.2.1 Ethernet Industrial	13
1.4.2.2 Comunicación Ethernet Cliente - Servidor	14
1.4.2.3 PROFIBUS	16
1.4.3 PLC.....	16
1.4.3.1 Tipos de PLC marca SIEMENS	17
CAPÍTULO 2.....	19
2. Metodología.....	19
2.1 Identificación de variables del proceso	19
2.1.1 Mapeo de Entradas y Salidas	20
2.1.2 Arquitectura de bus de campo inicial	22
2.2 Configuración de Hardware y Software	22
2.2.1 Dell Optiplex 7020.....	23
2.2.2 Dominio Industrial.....	23

2.2.3	Instalación de PCS7 y WinCC.....	24
2.3	Creación y Configuración del cliente en PCS7	25
2.3.1	OS y Servidores.....	25
2.3.2	Descarga de PCS7 al cliente.....	25
2.3.3	Estado de conectividad: Cliente y Servidor.....	26
2.4	Programación y simulaciones	26
2.4.1	Lógica de programación: Librería CEMAT	26
2.4.2	Interfaz gráfica	27
2.5	Manual de operación del cliente.....	30
CAPÍTULO 3.....		32
3.	Resultados Y Análisis	32
3.1	Estabilidad y Eficiencia en la Conectividad Cliente-Servidor.....	32
3.2	Tasa de éxito de simulaciones	33
3.3	Interfaz Gráfica Intuitiva.....	34
3.4	Registro histórico en PCS7	36
3.5	Análisis de Resultados.....	37
3.6	Análisis de Costos	38
CAPÍTULO 4.....		40
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	40
4.1	Conclusiones	40
4.2	Recomendaciones.....	41
Bibliografía.....		43
Apéndice A.....		44

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DCS	Distributed Control System
HMI	Human Machine Interface
PLC	Programmable Logic Controller
LAN	Local Area Network
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
OS	Operating System
DI	Digital Input
DO	Digital Output
AI	Analog Input
AO	Analog Output
PB	Profibus
IE	Industrial Ethernet
IP	Internet Protocol

SIMBOLOGÍA

A	Amperio
Bps	Bits por segundo
°C	Grados Centígrados
C	Carbono
Ca	Calcio
kg	Kilogramo
Gbps	Gigabits por segundo
Mbps	Megabits por segundo
min	Minuto
mV	Milivoltio
O	Oxígeno
rpm	Revoluciones por minuto
V	Voltio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso del Cemento	12
Figura 1.2. Trama de Ethernet	13
Figura 1.3. Usuario accede a la aplicación a través del cliente	14
Figura 1.4. Modelo cliente-servidor con múltiples clientes	15
Figura 1.5. Modelo cliente-servidor con múltiples servidores	16
Figura 2.1. Diagrama de las fases de la metodología	19
Figura 2.2. Dispositivos de campo del PLC S7-400	22
Figura 2.3. Diagrama de flujo para conectividad	24
Figura 3.1. Interfaz gráfica del cliente del proceso de despacho	35
Figura 3.2. Registro histórico en el sistema de PCS7	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Modificaciones disponibles según el modelo del PLC	17
Tabla 2.1. Listado de Equipos del proceso de despacho	20
Tabla 2.2. Listado de Entradas y Salidas.....	21
Tabla 2.3. Características del computador Industrial	23
Tabla 2.4. Listado de programas en el desarrollo del proyecto.....	25
Tabla 2.5. Bloques de la librería CEMAT	27
Tabla 2.6. Interfaces gráficas de la librería CEMAT	28
Tabla 3.1. Resultados de la métrica evaluada con sus respectivas observaciones...	33
Tabla 3.2. Tasa de éxito de simulaciones	34

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria cementera moderna enfrenta múltiples desafíos, entre ellos, la necesidad de optimizar sus procesos para cumplir con estándares de eficiencia y sostenibilidad en un entorno de alta competencia. Uno de los aspectos críticos en la producción de cemento es el manejo y despacho del Clinker, un material intermedio fundamental [1]. El Clinker se produce a partir de una mezcla de minerales calcinados que, al enfriarse, se convierte en un componente clave para la elaboración de cemento [2]. No todas las plantas cementeras producen Clinker, pero aquellas que sí lo hacen y despachan este material a granel desempeñan un papel fundamental en la cadena de suministro del cemento, abasteciendo a otras plantas y permitiendo que continúe la producción en distintas ubicaciones [3]. Este contexto plantea la necesidad de sistemas de control y supervisión que puedan gestionar el proceso de despacho de Clinker de manera eficiente, segura y con una respuesta rápida ante posibles fallos.

El presente proyecto de tesis se enfoca en el diseño de un cliente de supervisión y control que permita integrar esta estación aislada de despacho de Clinker al sistema PCS7, una plataforma de automatización avanzada desarrollada por Siemens. PCS7 es ampliamente utilizado en la industria cementera y en otras industrias de procesos debido a su capacidad para gestionar complejas operaciones de manera centralizada y eficiente. Mediante esta integración, el sistema no solo permitirá monitorear el despacho de Clinker desde una ubicación central, sino que también brindará soporte para el diagnóstico remoto y la resolución rápida de problemas, contribuyendo a reducir tiempos de inactividad.

1.1 Descripción del problema

En la planta cementera donde se desarrolla este proyecto, el área de despacho de Clinker opera como una estación aislada, sin integración al sistema de control y supervisión centralizado PCS7. Aunque la estación cuenta con una interfaz gráfica, no está conectada al sistema del control distribuido de la planta, lo que impide la supervisión centralizada de las variables críticas del proceso. La falta de integración limita la capacidad del equipo de automatización para monitorear y gestionar en tiempo real variables esenciales, como el control de mangas, apertura de compuertas y pesaje del Clinker, desde una ubicación central. [4]

Además, el equipo de automatización no tiene acceso remoto al sistema de control de la estación aislada, lo que incrementa los tiempos de respuesta ante fallas o problemas operativos. Cuando surgen incidencias, los técnicos deben estar presentes físicamente en la estación para diagnosticar y resolver los problemas, lo que no solo ralentiza la resolución, sino que también aumenta el riesgo para el personal, debido a la exposición constante a un entorno con altos niveles de polvo y contaminación.

La ausencia de supervisión centralizada de las variables también dificulta la optimización del flujo de trabajo y el uso eficiente de los recursos. Los operadores deben depender de sistemas independientes, lo que complica la gestión del proceso de despacho y genera tiempos de inactividad prolongados. Estos retrasos afectan directamente la continuidad del proceso de despacho de Clinker, un material esencial para el suministro de cemento a otras plantas. Es necesario implementar una solución que integre completamente la estación aislada al sistema PCS7, permitiendo una supervisión centralizada, diagnóstico remoto, y optimización del proceso para garantizar la eficiencia operativa y la seguridad del personal.

1.2 Justificación del problema

La falta de integración de la estación aislada de despacho de Clinker al sistema PCS7 afecta directamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante fallas, aumentando los tiempos de inactividad y comprometiendo la continuidad de la producción. La implementación de este proyecto es crucial para optimizar la supervisión y control del proceso de despacho, mejorando la capacidad de respuesta remota y centralizada ante cualquier incidente [5]. Integrar esta estación permitirá mejorar la seguridad del personal al reducir su exposición a condiciones adversas, como el polvo y la contaminación, y optimizar el uso de los recursos, contribuyendo a una operación más eficiente y competitiva. Además, la integración con PCS7 fortalecerá la gestión del proceso, asegurando un monitoreo en tiempo real y mejorando la toma de decisiones operativas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un cliente de supervisión y control que integre una estación de operación aislada al sistema PCS7 de la planta cementera, para optimizar la respuesta del equipo de automatización en fallas del sistema de control y garantizar la continuidad operativa del proceso de despacho de Clinker.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un recorrido detallado del proceso de despacho de Clinker en la planta cementera, identificando las variables involucradas en su control y supervisión dentro de la estación aislada.
2. Analizar el sistema de control PCS7 y la estación aislada, estudiando los equipos involucrados y las especificaciones necesarias para lograr su correcta integración.
3. Desarrollar un diseño preliminar de la arquitectura del cliente de supervisión y control, incluyendo la configuración de hardware y software necesarios para una integración eficiente y estable con el sistema PCS7.
4. Programar la lógica de control del despacho de Clinker en el entorno de PCS7 mediante la utilización de CFC (Continuous Function Chart).

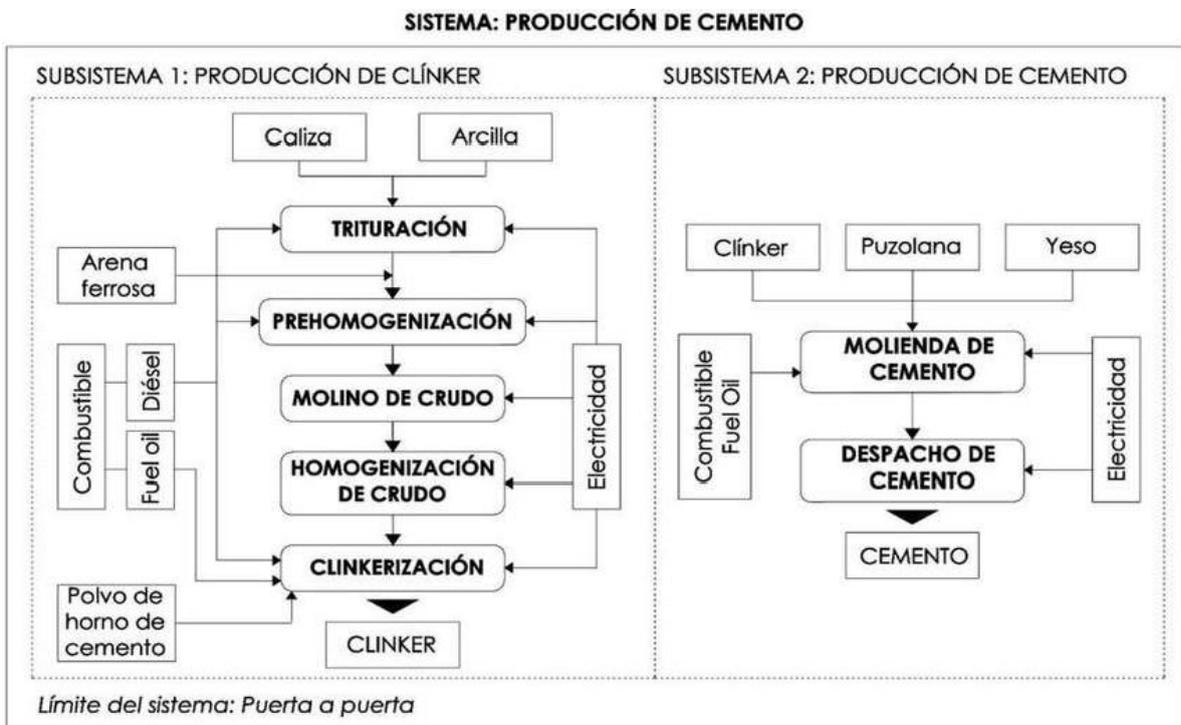
5. Diseñar la interfaz gráfica en WinCC para la visualización en tiempo real de los parámetros de despacho de Clinker.
6. Realizar pruebas a través de simulaciones en el cliente integrado en el proyecto.
7. Crear un manual de usuario que describa el funcionamiento del cliente de supervisión y control.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Clinker

El Clinker, elemento esencial en la fabricación del cemento, es el resultado de la descomposición térmica de la caliza, la cual, mezclada homogéneamente con arcilla, con la ayuda de un combustible fósil, comúnmente carbón, alcanza temperaturas mayores a los 1450 °C, ($\text{CaCO}_3 + \text{calor} = \text{CO}_2 + \text{CaO}$). El producto resultante pasa por una etapa de enfriado a una temperatura cercana a 90 °C dando como resultado gránulos de entre 5 a 25 mm que, al mezclarse con coadyuvantes como el yeso, dan como producto final el cemento. [2]

Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso del Cemento



Nota: Figura extraído del manual de evaluación de proyectos energéticos en el área de Cemento. [2]

1.4.2 Comunicación Industrial

Se define como el conjunto de protocolos que permiten realizar el intercambio de datos entre los diferentes equipos y sistemas dentro de un entorno industrial. A través de la cual se procura mantener un monitoreo y control constante de los procesos. [6]

1.4.2.1 Ethernet Industrial

Se basa en el Protocolo Ethernet IEEE 802.3 buscando satisfacer las demandas de entornos industriales en donde los tiempos de respuestas deben ser muy rápidos. La importancia del ethernet industrial radica en la velocidad de transmisión de datos sobre todo en procesos en donde se necesita un control y monitoreo en tiempo real, en estos procesos considerado como críticos la utilización del protocolo de ethernet industrial se da con mayor frecuencia. [7]

Para profundizar en el protocolo ethernet es necesario entender la trama Ethernet para lo cual es necesario dar un vistazo a los diferentes campos que lo forman.

Figura 1.2. Trama de Ethernet



Nota: La figura fue extraído de libro Redes de Computadoras. [7]

Primero se observa que el preámbulo está formado por 64 bits, alternando entre 0 y 1, los dos últimos números binarios son 1 1 lo que permite general una señal cuadrada que sincronizan los relojes de sincronismo de bits. Esto funciona para marcar el inicio de la trama.

Luego la dirección de origen que son los 48 bits siguientes como se observan en la figura 2 lleva la información del origen de la trama (dirección MAC o dirección física del transmisor).

De igual forma a la dirección de Origen, el destino contiene la información de la MAC del destinatario en el destino tenemos tres tipos de direcciones posibles (unicast, multicast, broadcast). [7]

El tipo por el contrario con 16 bits presenta el contenido del campo de datos que lleva la trama (la trama de datos transporta paquetes IP 0x800). Dentro de este campo es importante mencionar que permite multiplexar diferentes protocolos dentro de una misma LAN.

En los datos se refiere al formato del campo de datos, dentro de este campo existen restricciones como: la longitud de los datos que se encuentran dentro de este campo deben ser múltiplos de 8 bits, tiene un máximo de información transportable por la trama MTU impidiendo que solo una estación controle la LAN, el campo de tener como mínimo 46bytes de longitud. [7]

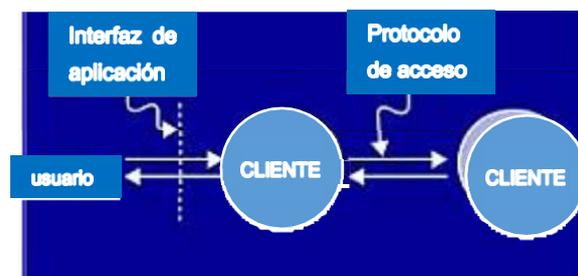
Por último, el CRC con 32 bits es un código de redundancia cíclica esto es necesario para la detección de errores, el objetivo es abarcar toda la trama sin el preámbulo cuando esta trama no contienen un CRC correcto serán ignorados.

1.4.2.2 Comunicación Ethernet Cliente - Servidor

La comunicación cliente-servidor ocurre cuando un dispositivo o equipo, denominado cliente, realiza peticiones específicas a otro equipo esperando recibir resultados específicos ese otro, conocido como servidor, procesa dichas solicitudes y responde proporcionando las acciones requeridas. Esta comunicación aparece como resultado de la programación distribuida, esto permite hacer un mayor uso de los recursos de los equipos que se encuentran interconectados para que así puedan realizar acciones de forma cooperativa. [7] [6]

Por otro lado, los usuarios tienen acceso a la aplicación por medio del cliente. En la figura 3 podemos observar el esquema de acceso a través del cliente.

Figura 1.3. Usuario accede a la aplicación a través del cliente

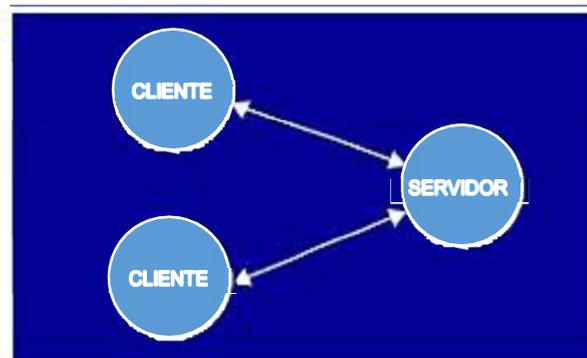


Nota: La figura fue extraído de libro Redes de Computadoras [7].

El usuario de las aplicaciones normalmente es una persona sin embargo es posible que el usuario sea otra aplicación, para el primer escenario es necesario que el cliente tenga una interfaz gráfica de usuario para que pueda facilitar el diálogo con la persona y puedan ingresarse las solicitudes necesarias obteniendo las acciones que se requieren. Para el escenario 2 se usa las llamadas a funciones. Este modelo cliente-servidor es posible añadir variantes como las siguientes:

Múltiples clientes: En este caso el servidor se ha preparado de tal manera que sea posible recibir múltiples conexiones en donde están los clientes que enviarán solicitudes las cuales pueden ser de forma simultánea. [7]

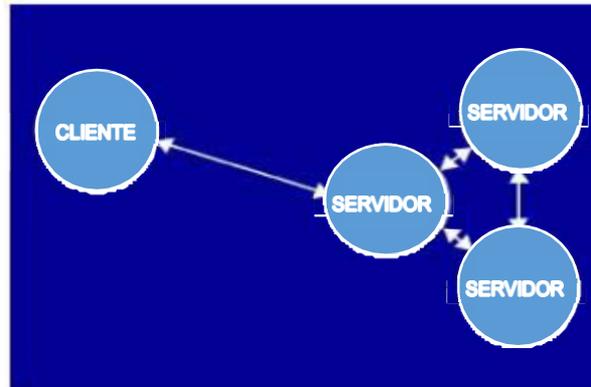
Figura 1.4. Modelo cliente-servidor con múltiples clientes



Nota: La figura fue extraído de libro Redes de Computadoras. [7]

Múltiples Servidores: En este caso observamos una cantidad mayor de servidores en donde son complementarios, en donde se ayudan mutuamente si alguno de los servidores no puede satisfacer la petición, le consultará al otro servidor que, si pueda hacerlo, la comunicación entre estos servidores dependerá de los protocolos propios que implementan para la interconexión entre servidores. [7]

Figura 1.5. Modelo cliente-servidor con múltiples servidores



Nota: La figura fue extraído de libro Redes de Computadoras. [7]

1.4.2.3 PROFIBUS

Process Field Bus es un estándar de red digital (bus de campo) el cual facilita la comunicación entre los diferentes equipos y sensores en campo con los PLC. [8] [6]

Dentro de los protocolos Profibus tenemos:

Profibus FMS: Ofrece una gran cantidad de opciones y permite el desarrollo de tareas de comunicación complejas entre PLC y DCS.

Profibus DP: Solución pensada por la alta velocidad, se utiliza entre la comunicación de los sistemas de automatización y los equipos descentralizados sustituyendo los sistemas de 4 a 20mA, HART entre otros.

Dentro de las velocidades de transmisión el Profibus DP es capaz de transmitir 1 Kbyte de E/S en menos de dos minutos.

Profibus PA: Pensado para la comunicación entre los sistemas de control y los equipos de campo como transmisores de temperatura, presión posicionadores, entre otros.

1.4.3 PLC

Según la National Electrical Manufacturer's Association NEMA, un PLC se define como el dispositivo electrónico con memoria programable que puede contener instrucciones y ejecutarlas de acuerdo con la lógica considerada realizando funciones específicas para controlar un proceso. [9]

1.4.3.1 Tipos de PLC marca SIEMENS

S7 300: PLC con características modulares útil para aplicaciones de complejidad media, soporta PROFIBUS y PROFINET.

S7 400: PLC con un rendimiento superior el cual se usa para sistemas grandes y complejos, es capaz de soportar redundancia, módulos de alta capacidad y mayor velocidad de procesamiento.

S7 1200: PLC compacto diseñado para aplicaciones pequeñas con un número más limitado de entradas y salidas.

S71500: PLC Avanzado con características modernas, pensado como sucesor de los S7 300 y 400.

La carga de objetos en la CPU también varía dependiendo del modelo de PLC. A continuación, se detalla una tabla para la configuración y programación en los modelos que permiten una carga RUN. [8] [10]

Tabla 1.1 Modificaciones disponibles según el modelo del PLC

Modificaciones y bloques	S7-300	S7-400	S7-1200 a partir de V4.0	S7-1500 a partir de V1.7	S7-1200 V1.0 - V2.1	S7-1200 V2.2 - V3.0	S7-1500 V1.0 - V1.6
Propiedades modificadas de componentes HW	STOP	STOP, con restricciones en RUN	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
Componentes HW agregados	STOP	STOP, con restricciones en RUN	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
Listas de textos nuevas o modificadas (avisos)	RUN	RUN	-	STOP	-	-	STOP
Cargar número de bloques	RUN (<17)	RUN (<57)	RUN (<21)	RUN	STOP	RUN (<11)	RUN
Inicializar memoria de trabajo (MRES)	STOP (Reset)	STOP (Reset)	STOP (Reset)	STOP (Reset)	STOP (Reset)	STOP (Reset)	STOP (Reset)
Nuevo OB	RUN	RUN	STOP	RUN	STOP	STOP	RUN
OB modificado: modificaciones del código, modificación de	RUN	RUN	RUN	RUN	STOP	RUN	RUN

Modificaciones y bloques	S7-300	S7-400	S7-1200 a partir de V4.0	S7-1500 a partir de V1.7	S7-1200 V1.0 - V2.1	S7-1200 V2.2 - V3.0	S7-1500 V1.0 - V1.6
comentarios							
OB con propiedades modificadas (p. ej., cambio en el tiempo de ciclo)	STOP	RUN	STOP	RUN	STOP	STOP	RUN
OB borrado	RUN	RUN	STOP	RUN	STOP	STOP	RUN
Nuevo tipo de datos FB/FC/DB/PLC (UDT)	RUN	RUN	RUN	RUN	STOP	RUN	RUN
Tipo de datos FB/FC/DB/PLC (UDT) borrado	RUN	RUN	RUN	RUN	STOP	RUN	RUN
FB/FC modificado: modificación del código, modificación de comentarios	RUN	RUN	RUN	RUN	STOP	RUN	RUN
FB/FC modificado: modificación de interfaz	STOP	STOP	RUN (Init)	RUN (Init)	STOP	STOP	RUN (Init)
DB modificado (reserva de memoria no configurada): nombre o tipo de variables modificado, variables agregadas o borradas	RUN (Init)	RUN (Init)	RUN (Init)	RUN (Init)	STOP	STOP	RUN (Init)
DB modificado (reserva de memoria configurada): Nuevas variables agregadas	--	--	RUN	RUN	--	--	RUN
Tipo de datos PLC modificado (UDT)	STOP	STOP	RUN (Init)	RUN (Init)	STOP	STOP	RUN (Init)

Nota: La figura fue extraído del manual de Siemens. [10]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología seguida para el diseño e implementación del cliente de supervisión y control que integra una estación aislada al sistema PCS7 de la planta cementera. Este trabajo se divide en varias fases, comenzando con un análisis detallado del proceso de despacho de Clinker y la identificación de las variables involucradas, la configuración de Hardware y Software del computador industrial para el cliente, la programación en lenguaje CFC en el entorno de PCS7, el diseño de la interfaz gráfica integrando todos los equipos involucrados al sistema SCADA de la planta cementera. Además, se abordarán las especificaciones técnicas y los criterios de diseño utilizados, con el fin de garantizar la integración exitosa del sistema al entorno de control de la planta.

Figura 2.1. Diagrama de las fases de la metodología



2.1 Identificación de variables del proceso

Para comprender el proceso de despacho del área de Clinker se realizó un análisis sobre las variables que intervienen. Este análisis permitió entender a fondo los parámetros clave que debían ser monitoreados y controlados para asegurar una integración óptima con el sistema PCS7 de la planta.

Como primer paso, se identificaron y clasificaron todas las señales del proceso incluyendo variables de control para motores, nivel, peso, entre otras. Posteriormente, se realizaron pruebas en la estación aislada para verificar la disponibilidad y el estado de cada una de estas señales, asegurando que todas estuvieran operativas y correctamente cableadas.

Tabla 2.1. Listado de Equipos del proceso de despacho

Equipo	Descripción
6K1-DG1	Manga motorizada de descarga # 1
6K1-DG1	Manga motorizada de descarga # 2
6K1-DG1	Manga motorizada de descarga # 3
6K1-CQ2	Compuerta de Manga # 1 (Lado Izquierdo)
6K1-CQ3	Compuerta de Manga # 2 (Lado Central)
6K1-CQ4	Compuerta de Manga # 3 (Lado Derecho)
6K1-TL1	Tolva de Clinker a Granel
6K1-BW2	Balanza de Camiones

2.1.1 Mapeo de Entradas y Salidas

En el mapeo de entradas y salidas, se identificaron los sensores y actuadores que forman parte de los equipos críticos en el área de despacho de Clinker. Este proceso incluyó el análisis detallado de cada señal de entrada y salida asociada a los dispositivos de control, permitiendo una integración precisa de estos elementos en el sistema PCS7.

Para las compuertas (6K1-CQ2, 6K1-CQ3 y 6K1-CQ4), se incluyeron sensores de posición que permiten monitorear el estado de apertura y cierre, proporcionando una visión clara de su operación en tiempo real. En el caso de la tolva de Clinker (6K1-TL1), se identificaron sensores de nivel que garantizan un control adecuado del material almacenado, evitando sobrellenados y optimizando el flujo hacia los camiones. Además, la balanza de camiones (6K1-BW2) cuenta con sensores de peso que aseguran mediciones precisas de la carga, fundamentales para la logística de despacho y cumplimiento de normativas de transporte.

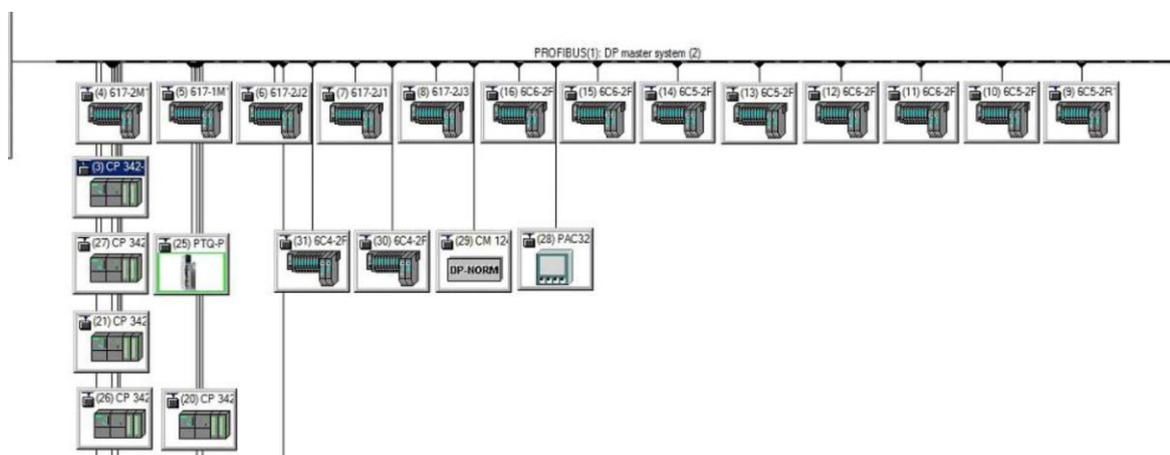
Tabla 2.2. Listado de Entradas y Salidas

Equipo	Descripción	Dirección	Dato	Entrada/Salida
6K1-DG1.Z1	Sensor de nivel máximo subida de Manga #1	I6.1	Bool	Entrada
6K1-DG1.Z2	Sensor de nivel máximo bajada de Manga #1	I2.6	Bool	Entrada
6K1-DG1.M1:RX	Accionamiento subir Manga #1	Q1.0	Bool	Salida
6K1-DG1.M1:RY	Accionamiento bajar Manga #1	Q1.1	Bool	Salida
6K1-DG2.Z1	Sensor de nivel máximo subida de Manga #2	I6.2	Bool	Entrada
6K1-DG2.Z2	Sensor de nivel máximo bajada de Manga #2	I3.4	Bool	Entrada
6K1-DG2.M1:RX	Accionamiento subir Manga #2	Q1.4	Bool	Salida
6K1-DG2.M1:RY	Accionamiento bajar Manga #2	Q1.5	Bool	Salida
6K1-DG3.Z1	Sensor de nivel máximo para Manga #3	I6.3	Bool	Entrada
6K1-DG3.Z2	Sensor de nivel mínimo para Manga #3	I4.2	Bool	Entrada
6K1-DG3.M1:RX	Accionamiento subir Manga #3	Q2.0	Bool	Salida
6K1-DG3.M1:RY	Accionamiento bajar Manga #3	Q2.1	Bool	Salida
6K1-CQ2.M1	Accionamiento Compuerta para Manga 1	Q0.0	Bool	Salida
6K1-CQ2.Z1	Posición abierta de Compuerta	I0.4	Bool	Entrada
6K1-CQ2.Z2	Posición cerrada de Compuerta	I0.5	Bool	Entrada
6K1-CQ2.U1:PF	Falla de voltaje control compuerta de descarga	I0.0	Bool	Entrada
6K1-CQ3.M1	Accionamiento Compuerta para Manga 2	Q0.2	Bool	Salida
6K1-CQ3.Z1	Posición abierta de Compuerta	I1.2	Bool	Entrada
6K1-CQ3.Z2	Posición cerrada de Compuerta	I1.3	Bool	Entrada
6K1-CQ3.U1:PF	Falla de voltaje control compuerta de descarga	I0.6	Bool	Entrada
6K1-CQ4.M1	Accionamiento Compuerta para Manga 3	Q0.4	Bool	Salida
6K1-CQ4.Z1	Posición abierta de Compuerta	I2.0	Bool	Entrada
6K1-CQ4.Z2	Posición cerrada de Compuerta	I2.1	Bool	Entrada
6K1-CQ4.U1:PF	Falla de voltaje control compuerta de descarga	I1.4	Bool	Entrada
6K1-TL2.W1	Peso de tolva de Clinker a Granel	PIW272	Word	Entrada Análoga
6K1-BW1.W1	Peso Balanza de Camiones	PIW274	Word	Entrada Análoga

2.1.2 Arquitectura de bus de campo inicial

En el proyecto PCS7, se mantuvo la arquitectura de hardware original de la red de bus de campo, que abarca múltiples dispositivos con una dirección de comunicación mediante el protocolo Profibus. Esta configuración inicial incluyó equipos como módulos ET200, medidores de energía, balanzas y PLCs, los cuales estaban configurados como dispositivos esclavos dentro de la red. Esto significa que cada dispositivo estaba plenamente integrado y sincronizado con el sistema de control, permitiendo un intercambio eficiente de datos.

Figura 2.2. Dispositivos de campo del PLC S7-400



En la arquitectura previamente establecida, se definió un direccionamiento en bloques de 64 bytes para el envío y recepción de datos, permitiendo una comunicación eficiente y estructurada entre los dispositivos. Para verificar esta configuración, se realizaron pruebas de intercambio de datos entre el PLC S7-400 del proyecto en PCS7 y el PLC S7-300 de la estación aislada del área de despacho.

2.2 Configuración de Hardware y Software

En esta etapa, se llevó a cabo la configuración del hardware y software necesario para la integración del cliente en la red industrial. El equipo utilizado incluyó un computador industrial con las especificaciones que se detallan más adelante en la tabla 2.3 para soportar las aplicaciones de supervisión y control en PCS7. Para asegurar un rendimiento óptimo y evitar conflictos en la operación, se realizó una partición del disco duro. Esta partición permitió organizar el sistema operativo y las aplicaciones de manera aislada, mejorando la eficiencia y estabilidad del sistema.

Se instaló el sistema operativo Windows 7 Ultimate en inglés, recomendado por su compatibilidad con el entorno PCS7 y otros programas necesarios en la planta cementera. Tras la instalación, el equipo fue configurado para ingresar al dominio de la red industrial de la planta, en el cual se encuentran los clientes, servidores y PLCs, facilitando así la comunicación e integración con los dispositivos existentes.

2.2.1 Dell Optiplex 7020

Se detallan las características técnicas del Dell Optiplex 7020, el equipo seleccionado para este proyecto. En la Tabla 2.3 se dimensionan las especificaciones del dispositivo industrial en el que se realizaron las simulaciones de la estación del cliente integrado.

Tabla 2.3. Características del computador Industrial

Característica	Descripción
Disco Duro	SSD Kingston 1 TB
RAM	16 Gb
Tipo de Sistema	64-bit
Procesador	Intel(R) Core(TM) i5 4750
Sistema Operativo	Windows 7 Ultimate versión inglés

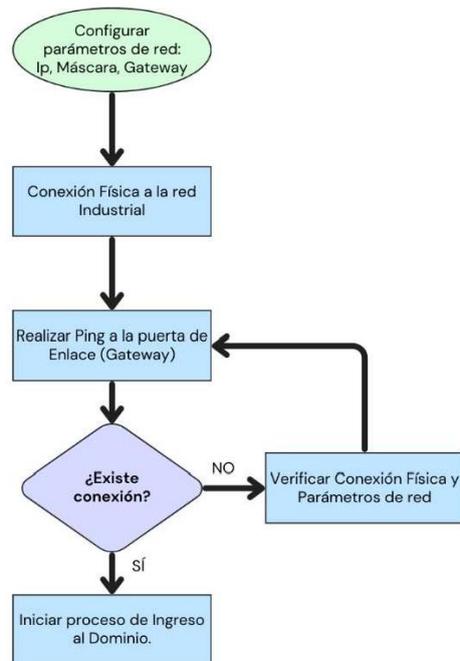
2.2.2 Dominio Industrial

Esta red conecta todos los equipos y dispositivos involucrados, incluidos los clientes, servidores y PLCs, permitiendo una comunicación segura y controlada dentro del sistema de PCS7. La configuración de red se realizó para asegurar que el equipo pudiera acceder a los recursos compartidos y sincronizarse correctamente con los demás elementos de control y supervisión de la planta.

Para ingresar el equipo al dominio industrial, se configuraron parámetros específicos, como la dirección IP estática dentro del rango asignado, la máscara de subred y la puerta de enlace de la red industrial. Además, se añadieron los protocolos de comunicación necesarios para el intercambio de datos con los PLCs y otros dispositivos. Una vez ingresado al dominio, se verificó la conectividad y el correcto

intercambio de datos entre el equipo y el resto de los sistemas de la planta, garantizando así la integración total en la arquitectura de red existente.

Figura 2.3. Diagrama de flujo para conectividad



2.2.3 Instalación de PCS7 y WinCC

Como parte esencial de la metodología, se llevó a cabo la instalación de las herramientas Siemens PCS7 y WinCC en el computador industrial previamente configurado. Estas aplicaciones son fundamentales para garantizar la supervisión y el control del proceso de despacho de Clinker en el sistema SCADA.

El proceso comenzó con la instalación de PCS7, siguiendo estrictamente los requerimientos técnicos especificados por el fabricante para asegurar su óptimo desempeño y compatibilidad con el sistema operativo Windows 7 Ultimate previamente instalado. Una vez finalizada esta etapa, se procedió con la instalación de WinCC, el cual funciona como el software de interfaz gráfica integrado dentro de PCS7, proporcionando las herramientas necesarias para la visualización y supervisión en tiempo real del sistema.

Las versiones específicas de los programas instalados se detallan en la Tabla 2.4, proporcionando una referencia clara sobre el software utilizado:

Tabla 2.4. Listado de programas en el desarrollo del proyecto

Software	Fabricante	Versión
PCS7	SIEMENS	V8.0 SP2
CEMAT	SIEMENS	V8.0 SP1
WinCC	SIEMENS	V7.2 + Upd 9

2.3 Creación y Configuración del cliente en PCS7

2.3.1 OS y Servidores

Dentro de la configuración inicial del proyecto, se evidencia la presencia de servidores configurados en redundancia y varios clientes distribuidos, los cuales están asignados a las diferentes áreas operativas de la planta cementera. Para mantener la estructura establecida en el proyecto, se procedió a la creación y configuración de un nuevo cliente, vinculado específicamente a los servidores redundantes denominados SVR3 y SVR4, de los cuales se obtiene toda la información recibida del controlador que conecta la operación del área a intervenir. Utilizando el entorno de Component View, se llevó a cabo la asignación del nuevo cliente a estos servidores, asegurando una integración eficiente y conforme a los estándares del sistema. El procedimiento consistió en insertar un nuevo objeto dentro de la carpeta correspondiente a las estaciones de operación ya configuradas, identificándolo como OS Client (Estación de Operación). Este cliente fue diseñado para conectarse a los servidores redundantes mediante el protocolo Industrial Ethernet, garantizando una comunicación confiable y sin interrupciones. Adicionalmente, se definieron las rutas necesarias para acceder a los datos supervisados y se establecieron configuraciones específicas que permiten la sincronización en tiempo real con los servidores.

2.3.2 Descarga de PCS7 al cliente

Este proceso incluye la asignación de servidores, la transferencia de todos los datos de configuración, como los parámetros de red, las rutas de comunicación y los datos de supervisión previamente definidos de los servidores asignados.

La descarga se llevó a cabo conectando el cliente al sistema mediante la red Industrial Ethernet y con la herramienta de PCS. Durante este procedimiento, se verificó

la correcta transferencia de los datos y la sincronización con los servidores redundantes, asegurando que el cliente estuviera completamente operativo y listo para supervisar y controlar el área designada.

2.3.3 Estado de conectividad: Cliente y Servidor

Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para evaluar el estado de conectividad con los servidores ya mencionados. Estas pruebas incluyeron la validación de la comunicación en tiempo real, el análisis de los tiempos de respuesta y la verificación de la transferencia bidireccional de datos entre el cliente y los servidores redundantes.

Además, se utilizó la herramienta integrada en los servidores denominada Estado de Multi-Usuarios de Operación, la cual permite monitorear automáticamente el estado de los clientes conectados, verificando su actividad en tiempo real. Esto facilitó la identificación de cualquier anomalía en la conexión y confirmó que el cliente mantenía una comunicación estable y sincronizada con los servidores.

2.4 Programación y simulaciones

2.4.1 Lógica de programación: Librería CEMAT

Para el desarrollo de la lógica de control, se utilizó la librería estándar CEMAT de Siemens, diseñada específicamente para procesos de la industria cementera. Esta librería proporcionó bloques de función predefinidos que permitieron implementar las operaciones del área de despacho de Clinker de manera eficiente y estandarizada.

Entre los bloques utilizados se encuentran los módulos para el control de motores, sensores y alarmas, los cuales se adaptaron a las necesidades del proceso. Se desarrolló y probó la lógica para garantizar que cada elemento del proceso respondiera correctamente a los comandos emitidos desde el cliente.

Tabla 2.5. Bloques de la librería CEMAT

Nombre del Bloque	Librería	Funcionalidad
C_DRV_1D	CEMAT	Control para motor en una sola dirección
C_ANNUNC	CEMAT	Indicador de Falla o Advertencia
C_MEASUR	CEMAT	Registro de valores medidos
C_SELECT	CEMAT	Selector de Operación
C_INTERLOCK	CEMAT	Interlocks

2.4.2 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica fue diseñada utilizando el software WinCC, integrado en PCS7, para proporcionar un entorno de supervisión intuitivo, eficiente y adaptable a las necesidades específicas del proceso en el área de despacho. Este diseño tuvo como objetivo garantizar que los operadores de planta pudieran monitorear y controlar el sistema de manera sencilla y precisa, minimizando tiempos de respuesta ante eventualidades.

Se configuraron pantallas dinámicas que representaron el estado de los equipos, alarmas, gráficos de tendencia y variables críticas del proceso. Estas pantallas permitieron visualizar en tiempo real parámetros como niveles, flujos y estados operativos de motores y válvulas. Además, se incluyeron botones de control interactivos, indicadores visuales para alarmas (clasificadas por prioridad) y estados de equipos, así como accesos rápidos para facilitar la navegación entre diferentes vistas del proceso.

Un aspecto clave del diseño fue la vinculación directa entre los bloques de programación desarrollados en la librería CEMAT y las propiedades configuradas en WinCC. Los bloques de función de CEMAT, como aquellos destinados al control de motores, válvulas y sensores, cuentan con propiedades predefinidas que se integraron directamente a los elementos gráficos de la interfaz. Por ejemplo, los estados operativos de un motor, como encendido, apagado, fallo o mantenimiento, se representaron mediante indicadores gráficos que cambian de color o forma en función de la lógica del bloque programado en CEMAT.

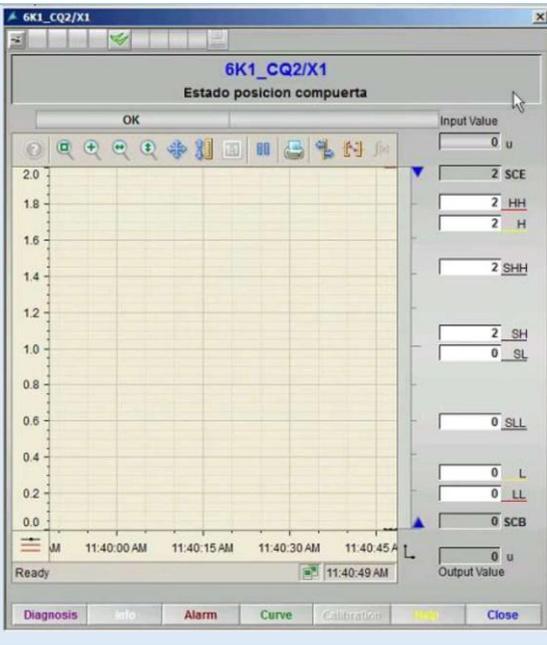
Asimismo, se establecieron vínculos dinámicos para que las alarmas generadas en los bloques de CEMAT fueran automáticamente reflejadas en la interfaz de WinCC, lo que permitió un monitoreo en tiempo real de eventos críticos. Esto asegura que los

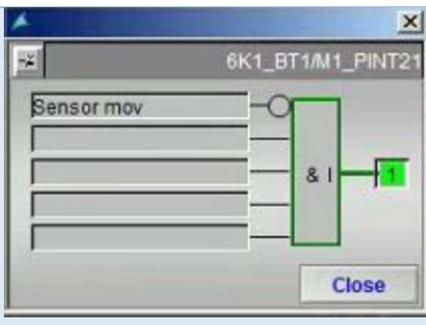
operadores puedan identificar rápidamente los problemas, ya que las alarmas no solo son visuales, sino también audibles y clasificadas por severidad.

El diseño también incluyó gráficos de tendencia que mostraban el comportamiento histórico de variables importantes, permitiendo un análisis detallado del desempeño del proceso. Estas tendencias se configuraron para ser exportables, facilitando la elaboración de reportes y análisis de datos.

Tabla 2.6. Interfaces gráficas de la librería CEMAT

Nombre del Bloque	Librería	Bloques en WinCC
C_DRV_1D	CEMAT	

<p>C_ANNUNC</p>	<p>CEMAT</p>	
<p>C_MEASUR</p>	<p>CEMAT</p>	

C_SELECT	CEMAT	
C_INTERLOCK	CEMAT	

2.5 Manual de operación del cliente

Como parte fundamental de la metodología aplicada en el proyecto de automatización, se desarrolló un manual de operación del sistema configurado para el cliente. Este manual tuvo como propósito brindar una guía detallada y estructurada, diseñada específicamente para que los operadores de planta comprendan y utilicen de manera efectiva las funcionalidades disponibles en la interfaz de supervisión del sistema, la cual fue implementada mediante el software WinCC de Siemens.

El diseño del manual priorizó la facilidad de uso, el entendimiento intuitivo y la seguridad operativa, asegurando que los operadores puedan llevar a cabo sus tareas diarias con eficiencia y sin comprometer la integridad del proceso. Para lograr estos objetivos, se definió una estructura organizada del contenido, que incluyó los siguientes apartados principales:

Descripción de la interfaz gráfica del sistema: Este apartado proporciona una explicación detallada de cada uno de los elementos visibles en la pantalla de supervisión. Se describen las funciones y representaciones gráficas de indicadores clave, como el estado operativo de las compuertas de descarga, los niveles de la tolva de alimentación, y las alarmas generadas por el sistema.

Instrucciones de inicio de sesión: Se detalla el procedimiento seguro para acceder al sistema desde las estaciones de operación. Este contenido incluye una descripción paso a paso de las credenciales necesarias y los pasos para establecer una conexión inicial correcta con los servidores del sistema de control, garantizando así la protección de los datos y la continuidad operativa.

Navegación en la interfaz gráfica en el sistema PCS7: Este apartado guía al operador en la interpretación de los diversos elementos visuales, como alarmas, gráficos de tendencias y botones de control. Se explica cómo navegar por las diferentes pantallas de supervisión, permitiendo al usuario monitorear el estado del sistema y tomar acciones correctivas cuando sea necesario.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas durante el diseño del sistema en PCS7, utilizando los recursos proporcionados por el software y los componentes de la librería CEMAT. Estas simulaciones incluyeron la configuración detallada del computador industrial establecido como cliente, asegurando su integración adecuada con la red de comunicación y su conexión eficiente con los servidores redundantes. Se verificó la correcta configuración de las direcciones IP, las rutas de acceso y el uso del protocolo Industrial Ethernet, garantizando una interacción estable y confiable entre el cliente y los servidores para el acceso remoto.

Adicionalmente, se validaron aspectos como el intercambio bidireccional de datos, la sincronización de señales en tiempo real, y la supervisión de eventos y alarmas a través de la interfaz gráfica. Estas configuraciones y pruebas aseguraron que el cliente fuera capaz de operar de manera óptima dentro de la arquitectura del sistema, permitiendo a los operadores visualizar y controlar el proceso de forma remota con total eficiencia y sin interrupciones.

3.1 Estabilidad y Eficiencia en la Conectividad Cliente-Servidor

La estabilidad de la conexión entre el cliente y los servidores se evaluó mediante la latencia promedio, la tasa de pérdida de paquetes y el porcentaje de disponibilidad de la conexión durante los periodos de prueba. Para la evaluación, se realizaron pruebas continuas utilizando herramientas de diagnóstico de redes que permitieron monitorear y registrar el comportamiento de la comunicación bajo condiciones de operación simuladas.

El análisis consideró dos aspectos fundamentales: primero, la capacidad del cliente para mantener una conexión estable y sin interrupciones con los servidores redundantes durante operaciones de alto tráfico de datos; y segundo, la velocidad de respuesta en el intercambio de información crítica entre el sistema SCADA y la interfaz gráfica operativa. Estos indicadores garantizan que el diseño del sistema cumple con los

estándares de confiabilidad y eficiencia requeridos en un entorno industrial automatizado, proporcionando una base sólida para la supervisión y control remoto del proceso.

La tabla 3.1 evidencia el alto desempeño del sistema en términos de estabilidad y eficiencia en la conectividad cliente-servidor, destacando una tasa de disponibilidad de conexión del 99.98%, lo que garantiza una comunicación ininterrumpida durante las pruebas y cumple con los estándares de confiabilidad industrial. Con una latencia promedio de 3 milisegundos, el sistema demuestra tiempos de respuesta ultrarrápidos entre cliente y servidores (SVR3 y SVR4), esenciales para la operación en tiempo real. Asimismo, se asegura una velocidad constante de transferencia de datos de 100 Mbps, gracias al uso del protocolo Industrial Ethernet, permitiendo gestionar grandes volúmenes de datos con precisión. Finalmente, el tiempo de reconexión inferior a 5 segundos ante fallos de red evidencia la capacidad del sistema para reestablecer la conectividad rápidamente, minimizando interrupciones críticas. Estos resultados confirman que el sistema cumple con los requisitos necesarios para operar de manera confiable y eficiente en un entorno industrial automatizado.

Tabla 3.1. Resultados de la métrica evaluada con sus respectivas observaciones

Métrica Evaluada	Resultado	Observaciones
Tasa de disponibilidad de Conexión	99.98%	Comunicación sin interrupciones durante las pruebas
Latencia	3 ms	Tiempo promedio de respuesta entre cliente y servidores SVR3 y SVR4.
Velocidad de Transferencia de Datos	100 Mbps	Velocidad constante asegurada por el protocolo Industrial Ethernet.
Tiempo de Reconexión	< 5 segundos	Reconexión rápida tras simulación de fallos de red.

3.2 Tasa de éxito de pruebas en entorno relevante

Esta métrica evalúa el desempeño del sistema durante las pruebas realizadas en el entorno de diseño en PCS7, enfocándose en la interacción y procesamiento de señales. Para garantizar la precisión de los tiempos de respuesta, se configuraron watchdog de comunicación, los cuales permitieron monitorear y validar el tiempo de procesamiento de cada señal. La Tabla 3.2 describe las características evaluadas, donde

se ejecutaron un total de 10 escenarios de operación, cubriendo diversas condiciones del sistema para validar la recepción, procesamiento y registro de datos en tiempo real. Los resultados demostraron una tasa de éxito del 100%, asegurando que todas las señales fueron procesadas correctamente dentro del tiempo establecido. En promedio, el tiempo de respuesta por señal fue de 500 milisegundos, lo cual refleja un equilibrio óptimo entre la capacidad de procesamiento del cliente y los recursos del sistema, garantizando una supervisión eficiente y confiable.

Tabla 3.2. Tasa de éxito de pruebas en entorno relevante

Característica Evaluada	Resultado	Observaciones
Total, de escenarios ejecutados	10	Escenarios de operación probados durante las pruebas.
Tasa de éxito de prueba en entorno relevante	100%	Porcentaje de señales correctamente registradas y procesadas.
Tiempos de respuesta	500 ms	Tiempo promedio para procesar cada señal recibida.

3.3 Interfaz Gráfica Intuitiva

La interfaz gráfica desarrollada en WinCC fue diseñada para ser altamente intuitiva como se visualiza en la imagen 3.1., enfocándose en la claridad y la facilidad de uso para los operadores. Incluye representaciones visuales detalladas de los equipos, como silos, válvulas, mangas de despacho y camiones, que permiten una rápida identificación del estado del sistema. Adicionalmente, se incorporaron indicadores numéricos y simbólicos para monitorear parámetros críticos como pesos, niveles y estado de las mangas de despacho.

El diseño permitió la visualización en tiempo real de alarmas y tendencias, facilitando la detección temprana de posibles anomalías. La función de control remoto mediante botones dedicados para subir y bajar mangas o para resetear fallas fue especialmente valorada por los operadores, ya que eliminó la necesidad de procedimientos manuales complejos.

Durante las pruebas de validación, los operadores destacaron la disposición ordenada de los elementos en la pantalla, lo que mejoró significativamente la

comprensión del estado operativo del sistema. Este enfoque minimizó los errores operativos y aumentó la eficiencia en la supervisión y control del área de despacho. Además, la integración de modos de operación (local y remoto) proporcionó flexibilidad en el manejo del sistema, adaptándose a las diferentes necesidades operativas.

La interfaz gráfica no solo cumple con los requisitos técnicos del sistema, sino que también mejora la experiencia del usuario al simplificar las tareas y maximizar la interacción visual con los componentes clave del proceso.

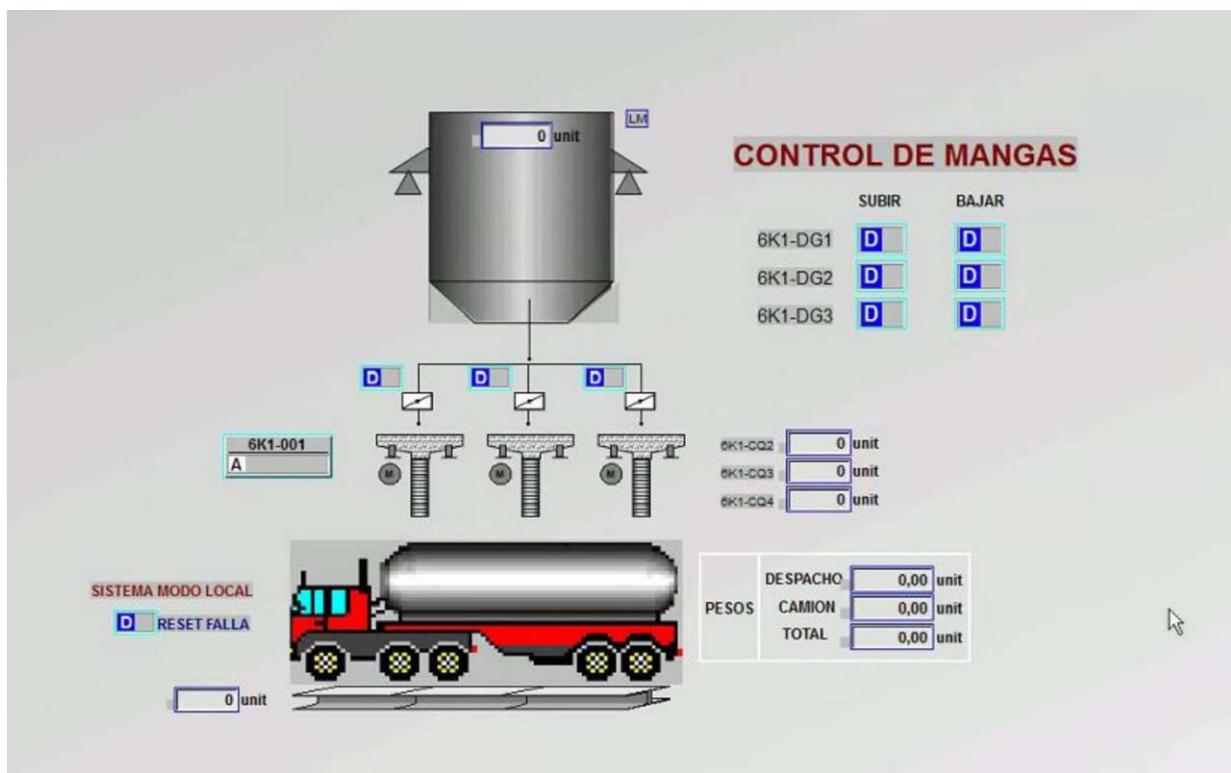


Figura 3.1. Interfaz gráfica del cliente del proceso de despacho

La interfaz gráfica que se muestra en la figura 3.1 cuenta con lo siguiente:

- Interfaz gráfica de las 3 mangas involucradas dentro del proceso de despacho de Clinker.
- La tolva de alimentación
- El sistema de pesaje de camiones.
- Controles para subir y bajar las mangas.

3.4 Registro histórico en PCS7

Una de las ventajas significativas del sistema PCS7 es su capacidad inherente para proporcionar acceso a registros históricos a través de su integración cliente-servidor y el uso de las interfaces disponibles en la librería de automatización. En el contexto de este proyecto, no fue necesario implementar un sistema de registro histórico adicional, ya que la configuración nativa del sistema permite la conexión directa a la base de datos del servidor, facilitando así el registro de variables de proceso críticas como se puede observar en la figura 3.2.

Este enfoque permite monitorear variables clave como el accionamiento de las compuertas de las mangas y el nivel de la tolva de alimentación principal, brindando acceso a tendencias históricas que respaldan decisiones operativas informadas. La comparación de estas variables en diferentes periodos ofrece la posibilidad de identificar patrones de comportamiento, optimizar el uso de recursos y mejorar la planificación de la producción.

Además, la capacidad de registro histórico integrada en PCS7 contribuye a una mejor gestión del sistema SCADA, al ofrecer datos confiables que soportan el análisis de rendimiento y permiten tomar decisiones basadas en evidencias. Esta funcionalidad representa una ventaja competitiva al reducir la necesidad de sistemas externos para la recopilación de datos, simplificando la arquitectura del sistema y mejorando su eficiencia general.

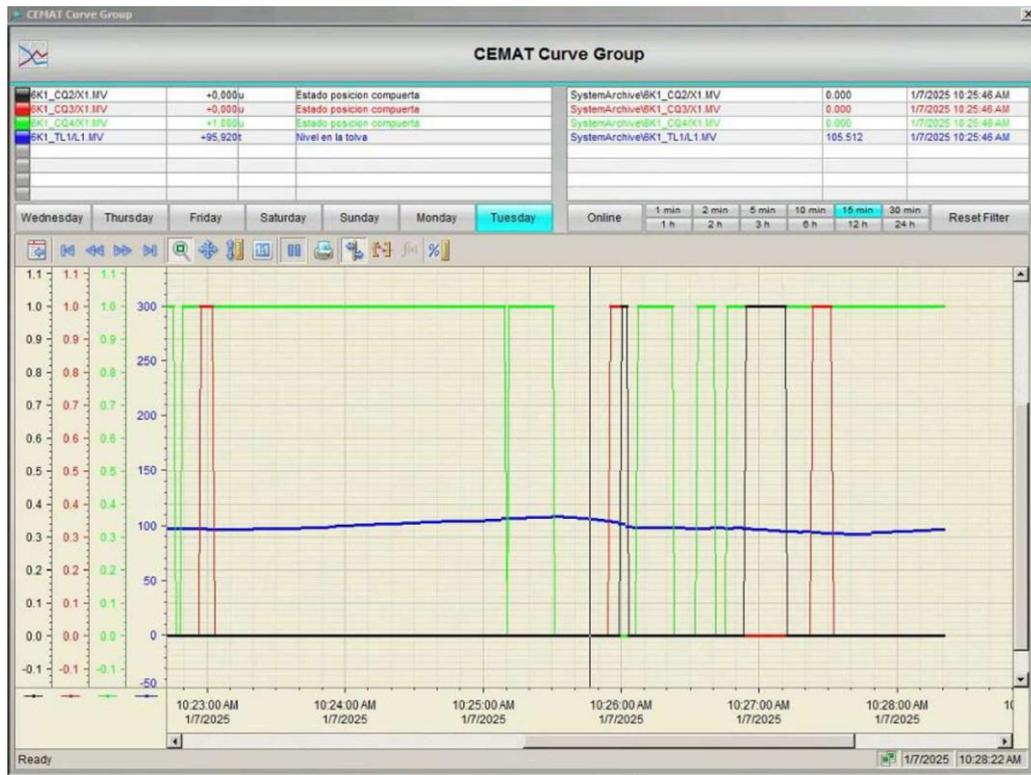


Figura 3.2. Registro histórico en el sistema de PCS7

3.5 Análisis de Resultados

Con respecto a la métrica evaluada en la Tabla 3.1 se observa una tasa de disponibilidad de conexión del 99.98% lo que indica que la comunicación no presentó interrupciones durante los 15 días de pruebas realizadas en el entorno relevante.

La latencia promedio que se obtuvo entre el cliente y servidor durante las pruebas en el entorno significativo fue de 3ms frente a los 5ms promedio de latencia de los demás clientes y servidores en planta, esto indica la estabilidad de la comunicación del proyecto. De igual forma la conectividad de la red tiene un tiempo de reconexión menor a 5 segundos asegurando un monitoreo constante del proceso. Los tiempos de respuesta del sistema es rápido ya que en promedio cada señal es procesada con una velocidad de 500ms, durante las comparaciones realizadas con los demás clientes este tiempo de respuesta del sistema en donde se procesan las señales es de aproximadamente 300ms.

Dentro de la elaboración de la interfaz gráfica para la integración se consideró visualización en tiempo real de alarmas y tendencias facilitando a los operadores la identificación de posibles fallas, asegurando un correcto monitoreo constante del

proceso, también es importante destacar la representación gráfica de cada uno de los equipos para el despacho de Clinker la cual fue realizada de manera intuitiva para el operador asegurando una supervisión correcta de los parámetros críticos en los silos, válvulas y mangas, la recopilación de los datos para la generación de históricos se realizó sin usar ningún programa adicional ya que PCS7 del sistema permitía esa conexión con la base de los datos del sistema siendo capaz de generar curvas de comportamiento de cada una de las variables dentro del proceso de despacho de Clinker, una característica indispensable para el monitoreo por parte de cada uno de los operadores.

3.6 Análisis de Costos

En la siguiente tabla se detallan los costos de los materiales usados para la realización del proyecto.

Tabla 3.3. Costos de Materiales

Elementos	Precio
Licencia de PCS7 V8	\$8.000,00
Cableado Ethernet	\$300,00
PC Industrial DELL	\$4.395,00
Total	\$12.625,00

Dentro de los elementos necesarios para el funcionamiento del proyecto tenemos lo siguiente:

Licencias PCS7 v8: La licencia de PCS7 se considera una inversión indispensable debido a que permite tener un acceso completo al sistema y además responde con las obligaciones técnicas que se deben de tener al incluir un nuevo cliente al sistema.

Conexionado: Aunque gran parte del cableado de los equipos se procedió a colocar los cables adicionales para la integración completa del cliente al sistema.

Pc Industrial: El computador industrial utilizado para la elaboración del proyecto es un **DELL Optiplex 7020**, una máquina diseñada para entornos exigentes que demandan confiabilidad y desempeño. Este equipo cuenta con las siguientes especificaciones destacadas:

- **Disco Duro SSD Kingston de 1 TB:** Garantiza un almacenamiento amplio y rápido, optimizando el acceso a los datos y reduciendo los tiempos de carga del sistema y las aplicaciones críticas.
- **Memoria RAM de 16 GB:** es posible manejar múltiples procesos simultáneamente gracias a la amplia memoria RAM de 16 Gb con la que cuenta este computador industrial
- **Sistema Operativo Windows 7 Ultimate (64 bits, versión en inglés):** este sistema operativo a pesar de no ser lo más reciente del mercado cuenta con una compatibilidad bastante alta con diferentes softwares industriales.
- **Procesador Intel Core™ i5-4750:** Este procesador de cuarta generación está diseñado para un equilibrio entre potencia y eficiencia energética, características ideales para un entorno industrial. Las principales ventajas del Intel Core i5-4750 incluyen:
 - **Mayor rendimiento en multitarea:** Gracias a la arquitectura de cuatro núcleos, este procesador permite ejecutar múltiples aplicaciones simultáneamente sin comprometer la velocidad ni la estabilidad del sistema.
 - **Soporte para instrucciones avanzadas:** Diseñado para manejar cargas de trabajo intensivas, como simulaciones, cálculos matemáticos complejos.
 - **Tecnología Intel Turbo Boost:** Aumenta automáticamente la frecuencia del reloj cuando es necesario, proporcionando potencia adicional para tareas exigentes.
 - **Gráficos integrados Intel HD 4600:** Suficientes para visualizar contenido técnico sin la necesidad de una tarjeta gráfica dedicada, lo que reduce el consumo de energía y el costo

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El recorrido detallado del proceso permitió obtener una identificación precisa de todas las variables que inciden directamente en la comunicación entre el cliente de operación y los servidores de PCS7, asegurando una integración robusta en el sistema de despacho de Clinker. Este análisis incluyó la identificación de puntos críticos en la sincronización de las válvulas y mangas de despacho, así como el monitoreo constante de los datos en tiempo real para garantizar la consistencia operativa. Además, se evaluó la interacción de los datos enviados desde el cliente al servidor, confirmando que los comandos y señales de retroalimentación se procesaran sin pérdida de información, mejorando así la eficiencia general del sistema. Este enfoque holístico no solo optimizó el proceso, sino que también minimizó posibles errores de comunicación, reduciendo tiempos muertos y mejorando la trazabilidad de cada operación.

Los protocolos de comunicación implementados dentro de la red industrial, como Ethernet industrial, garantizaron una transmisión estable y confiable de datos entre el cliente de operación y los servidores de PCS7, incluso bajo condiciones de alta carga. Durante las pruebas, se logró una latencia promedio de 5 ms, lo que refleja la capacidad del sistema para operar con alta precisión y sin retrasos significativos en la transferencia de comandos y datos críticos. Esta baja latencia fue fundamental para permitir que las operaciones de despacho se ejecutaran en sincronización perfecta con los requerimientos del proceso.

La disponibilidad de conexión fue un factor determinante en el éxito del sistema, alcanzando un impresionante 99.98% durante las pruebas realizadas en un entorno relevante. Este alto nivel de disponibilidad aseguró que no se produjeran interrupciones significativas durante la operación, incluso en escenarios de alta demanda de operación. Dicha continuidad operativa permitió no solo mantener el flujo constante del proceso, sino también establecer un estándar confiable para futuras implementaciones. Los resultados obtenidos durante las pruebas también confirmaron la robustez de los

componentes utilizados y su capacidad para resistir variaciones en las condiciones de operación, asegurando la estabilidad del sistema a largo plazo.

La interfaz gráfica desarrollada en WinCC para el cliente de operación no solo facilitó la interacción con el sistema, sino que también jugó un papel crucial en la supervisión de la comunicación con los servidores de PCS7. Mediante esta interfaz, se logró una visualización clara y en tiempo real de las alarmas, tendencias y parámetros clave que afectan la operación del sistema de despacho. Además, la interfaz permitió identificar rápidamente problemas relacionados con la comunicación, como tiempos de respuesta inusualmente altos o fallos en la transmisión de comandos.

El diseño que se realizó fue materializado a través de una arquitectura robusta que integra hardware y software configurados para garantizar una conexión eficiente con los servidores esta arquitectura se basó en el modelo cliente servidor en donde se aseguró un acceso remoto confiable y un fácil monitoreo desde la estación principal de consola.

La lógica de control usada en el sistema para el despacho de Clinker fue confiable y eficiente, se usó el CFC (Continuous Function Chart) asegurando un procesamiento de señales de 500 ms reflejando un equilibrio correcto entre la capacidad de procesamiento y los recursos del sistema. Además, la implementación de watchdogs permitió garantizar la estabilidad del sistema a través del monitoreo constante del tiempo de respuesta.

4.2 Recomendaciones

Como parte de las pruebas adicionales del sistema de despacho, se sugiere evaluar su desempeño bajo condiciones de mayor demanda, con el objetivo de analizar escenarios críticos que puedan surgir y garantizar la robustez del sistema frente a situaciones de alta exigencia operativa.

Asimismo, se recomienda explorar la posibilidad de migrar hacia versiones más avanzadas de PCS7 y actualizar los equipos de hardware. Estas actualizaciones permitirían mejorar el desempeño general del sistema, además de facilitar la incorporación de variables adicionales para futuras integraciones, optimizando la escalabilidad y funcionalidad del sistema a largo plazo.

Por último, es recomendable establecer un plan integral de mantenimiento preventivo tanto para el hardware como para el software. Este plan debe incluir

inspecciones periódicas del estado de los servidores, asegurando la continuidad de las operaciones y minimizando riesgos de fallos. Una revisión regular del sistema garantizará su correcto funcionamiento y una mayor confiabilidad operativa.

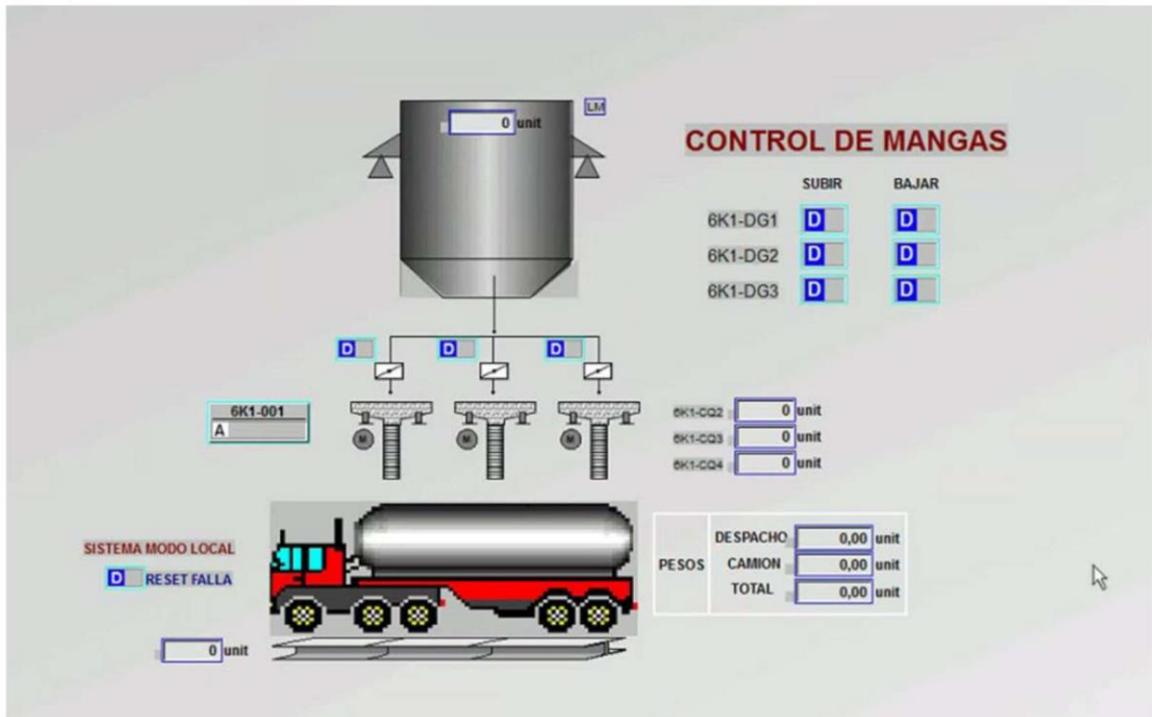
BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Rodriguez, «Principales desafíos de la transformación en la Industria del Cemento,» 7 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://blog.softtek.com/es/transformacion-tecnologica-cemento>.
- [2] C. Aristizábal y J. González-Manosalva, «Revision de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial,» de *Revista UIS ingenierías*, vol. 20, núm. 3, , Santander, Colombia, Universidad Industrial de Santander, , 2021, pp. 91-110.
- [3] O. M. M. Hamidi N, The effect of integrated management system on safety and productivity indices, Iranian cement industries: Case study; . Safety Science., 2012.
- [4] OFICEMEN, Producción sostenible del cemento. Agrupación de fabricantes del Cemento en España, España, 2011.
- [5] R. Cohn, Distributed Control System, E. Bookvika, Ed., Universidad de Atacama.
- [6] C. V. Miranda, Comunicaciones Industriales, Paranainfo, Mayo 2019.
- [7] J. I. R. M. E. P. X. P. Jose Maria Barceló, Redes de computadoras, Barcelona, España: ISBN: 84-9788-117-6, 2004.
- [8] Siemens, Profibus con Step 7 V 13, NurnBerg Alemania: SIEMENS, 2014.
- [9] R. L. & E. L.Hall, Handbook of Industrial Automation, Ingles: ISBN-10:0824703731, 2000.
- [10] SIEMENS, Lista de comparación para lenguajes de programación con nemónicos internacionales, Nuremberg: Digital Factory.
- [11] M. E. y. Montejo, «El "factor clinker" en la industria del cemento,» 24 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/el-factor-clinker-en-la-industria-del-cemento-esparza-montejo/>.

APÉNDICE A

Manual de Operación – Despacho Clinker

Sistema de Control Área: Despacho Clinker



Cliente: OS8

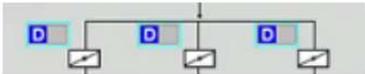
Elementos Principales de la Interfaz

Tolva de Alimentación Principal:



Representada en la parte superior de la pantalla, muestra el nivel de material almacenado, indicado por una lectura digital. Este nivel es fundamental para mantener el flujo continuo hacia las mangas de despacho.

Compuertas de las Mangas de Despacho:



Tres mangas controladas por compuertas identificadas como 6K1-DG1, 6K1-DG2, y 6K1-DG3. Cada compuerta cuenta con botones para abrir o cerrar, lo que permite el control manual del flujo de material.

Motores de las Mangas:



Representados con íconos de motor indican el accionamiento de cada manga. Su estado operativo puede visualizarse a través de indicadores de color o etiquetas de estado.

Indicadores de Peso:

PESOS	DESPACHO	0,00	unit
	CAMION	0,00	unit
	TOTAL	0,00	unit

La sección interior derecha incluye indicadores de peso relacionados con el despacho total, el peso del camión y la suma total, todos expresados en unidades. Estos datos son críticos para asegurar que se cumplan las especificaciones de carga.

Estado de Compuertas

6K1-CQ2	0	unit
6K1-CQ3	0	unit
6K1-CQ4	0	unit

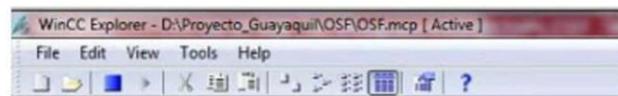
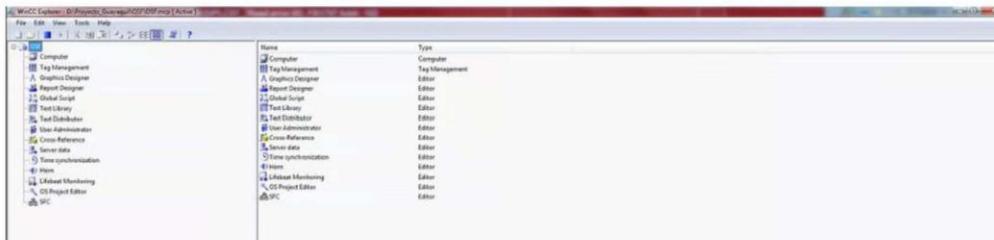
La sección central derecha incluye indicadores de estado relacionados con la apertura y cierre de las compuertas, es decir, se va a poder registrar valores históricamente.

Ejecutar proyecto del Cliente

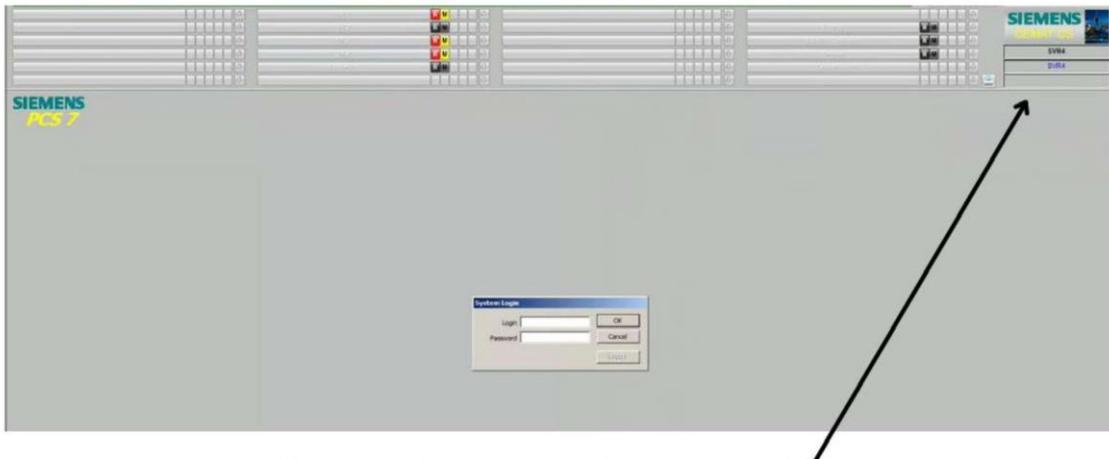
1. El programa Simatic WinCC, se encuentra en el escritorio de Windows, se debe abrir con doble clic.



2. Ejecutar el proyecto con el ícono de Play en la parte superior.



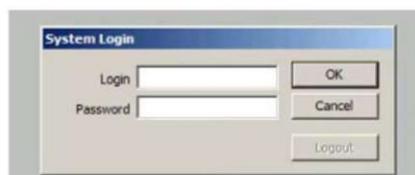
Inicios de Sesión



1. Clic izquierdo en la parte inferior, el tercer cuadro rectangular para ingresar credenciales



2. Ingresar credenciales



Navegación entre pantallas

1. Ingresar a la pantalla de MC4



2. Ingresar a la pantalla de despacho de Clinker

