



FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA DE ELECTRICIDAD

TRABAJO DE TITULACIÓN, MODALIDAD PROYECTO

TÉCNICO

TÍTULO:

“DISEÑO DE CONTROL PARA AUTOMATIZACIÓN DE CENTRO
DE CONTROL DE MOTORES (CCM) DE PLANTA INDUSTRIAL DE
AGREGADOS UTILIZANDO PLC's LOGO Y MONITOREO GRAFICO
DESDE WEB SERVER INTEGRADO.”

AUTORES:

CARRERA CUERO PEDRO VICENTE
MURILLO MACÍAS ANDY MAURICIO

ASESOR ACADÉMICO:

ING. MOREANO ALVARADO MILTON ENRIQUE, MSC.

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

2026 (1)

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Carrera de Electricidad de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de los estudiantes Carrera Cuero Pedro Vicente y Murillo Macías Andy Mauricio, legalmente matriculados en la carrera de electricidad, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto “Diseño de control para automatización de centro de control de motores (CCM) de planta industrial de agregados utilizando PLC’s logo y monitoreo grafico desde web server integrado.”

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente. Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 06 de febrero de 2026

Lo certifico,

**MILTON
ENRIQUE
MOREANO
ALVARADO**

Firmado digitalmente por MILTON ENRIQUE MOREANO ALVARADO
Fecha: 2026.02.06 15:48:21 -05'00'

Ing. Milton Moreano Alvarado, MSc.

Docente Tutor(a)

Área: Automatización Industrial

AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO

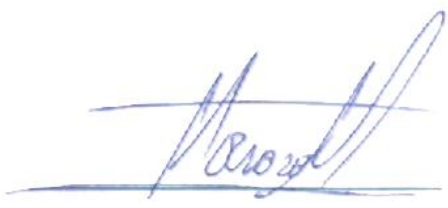
Quien suscribe Carrera Cuero Pedro Vicente y Murillo Macías Andy Mauricio con cédula de identidad N° 0850250663 y N° 1314979160, egresados de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura en la carrera de Electricidad declaro que nuestro proyecto de titulación “Diseño de control para automatización de centro de control de motores (CCM) de planta industrial de agregados utilizando PLC’s logo y monitoreo grafico desde web server integrado” la autoría del contenido, los hallazgos y las conclusiones alcanzadas son responsabilidad exclusiva de los autores. Se han utilizado las referencias bibliográficas imprescindibles para llevar a cabo el proyecto, garantizando el respeto por los derechos de autor de cada uno de los autores mencionados en la presente investigación. El patrimonio intelectual de este proyecto de titulación corresponderá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí



Carrera Cuero Pedro Vicente



Murillo Macías Andy Mauricio



ASESOR ACADEMICO

Ing. Moreano Alvarado Milton Enrique, MsC

DEDICATORIA

A mis padres, Dayana y Pedro, mi cimiento.

A mi hermana, Stefany, mi alegría.

A mi abuelo en el cielo, Mauro.

Esta meta alcanzada,
después de tanto esfuerzo,
es por y para ustedes.

Pedro Vicente Carrera Cuero

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Jaime Mauricio Murillo Muñoz y Jessica Geanine Macías Tigua, la base de mi trayecto.

A mis hermanas Jessica Belén Murillo Macías y Jerameel Anahí Murillo Macías por su alegría.

A mis amigos Pedro, Joel y Andrés por su apoyo durante la carrera.

Andy Mauricio Murillo Macías

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación personal. Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres Dayana y Pedro, y a mi hermana Stefany quienes han sido mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria, en donde su esfuerzo, sacrificio y confianza en mí han sido el pilar fundamental para alcanzar este logro.

De manera especial, agradezco a mis tíos y primos, quienes con su apoyo, consejos y palabras de aliento contribuyeron a mantenerme firme en el cumplimiento de mis metas académicas.

Dedico también unas sentidas palabras de gratitud a la memoria de mi abuelo Mauro, quien, aunque ya no se encuentra físicamente conmigo, fue un ejemplo de trabajo, responsabilidad y perseverancia. Sus enseñanzas permanecerán constantemente en mi vida profesional.

Agradezco a mis amigos de la carrera Andy, Joel y Andrés quienes compartieron conmigo jornadas de estudio, trabajo en equipo y apoyo constante durante este proceso académico, ya que ellos fueron parte importante para superar los desafíos presentados a lo largo de cada semestre.

Finalmente deseo reconocer a nuestro tutor, el Msc Milton Moreano, y agradecer a los docentes de la carrera, quienes contribuyeron con su conocimiento y experiencia a fortalecer mi criterio técnico, mi capacidad de análisis y mi visión profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco precedentemente a Dios por ser el apoyo moral, espiritual e infaltable en mi vida, no solo universitaria, si no, a nivel personal y social, le agradezco porque me permite tener vida y la salud que es el mejor regalo, así mismo por darme el fortalecimiento tanto mental como físico para culminar mis estudios de manera satisfactoria.

En gran medida exteriorizo mi agradecimiento a mis papás Mauricio y Jessica quienes son uno de los motivos por los cuales me he esforzado en culminar esta etapa ya que ellos han sido el sostén que me ha permitido continuar esforzándome cada día y quienes han depositado su confianza en mí para poder conseguir y alcanzar esta meta. De igual forma a mis hermanas Belén y Anahí las cuales también han formado parte de este trayecto y que han sido testigos del empeño puesto de mi parte para lograrlo.

Quiero agradecer también a mis amigos Joel, Pedro y Andrés, los cuales hicieron más llevaderas las horas de estudio, prácticas y demás aspectos durante las jornadas académicas y quienes también supieron compartir consejos y palabras de apoyo durante la misma.

Así mismo agradezco a nuestro tutor y docente el Ing. Milton Moreano, el cual ha sido también parte fundamental en el proceso de formación académica y de la misma manera la guía durante el proceso de elaboración de este trabajo de titulación.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se enfoca en el desarrollo de una solución automatizada para el Centro de Control de Motores (CCM) de una planta industrial de agregados dedicada a la producción de materiales pétreos. La propuesta técnica se fundamenta en el uso de varios PLC's LOGO de Siemens como núcleo del sistema de control, programados a través del entorno LOGO Soft Comfort e integrados mediante el Web Server, lo que permite el monitoreo y control remoto a través de una interfaz accesible desde la red local, sin necesidad de instalar software adicional.

El sistema está diseñado para gestionar motores trifásicos organizados por zonas funcionales dentro de la planta, incluyendo modos de operación manual y automático, secuencias seguras de arranque, programación horaria y retroalimentación visual sobre el estado de cada dispositivo. La lógica de control se elaboró tomando como base las condiciones reales de operación del entorno industrial, lo cual facilita una administración centralizada y eficiente desde una sola plataforma gráfica.

La validación del sistema se llevó a cabo mediante simulaciones, lo que permitió verificar su comportamiento funcional sin necesidad de montar una instalación física. Esta solución representa un avance considerable al ofrecer mayor seguridad operativa, reducir el riesgo de exposición a tableros energizados y mejorar la capacidad de supervisión remota. En conjunto, el enfoque responde a los principios actuales de automatización industrial, proponiendo una alternativa escalable, funcional y adaptable a otros entornos productivos con características similares.

Palabras clave: Automatización industrial, PLC LOGO, Web Server.

ABSTRACT

This degree project focuses on the development of an automated solution for the Motor Control Center (MCC) of an industrial aggregates plant dedicated to the production of stone materials. The technical proposal is based on the use of several Siemens Logo PLC as the core of the control system, programmed through the LOGO Soft Comfort environment and integrated through the Web Server, which allows remote monitoring and control through an interface accessible from the local network, without the need to install additional software.

The system is designed to manage three-phase motors organized by functional zones within the plant, incorporating manual and automatic operation modes, safe start-up sequences, scheduled control, and real-time feedback on the status of each device. The control logic was developed based on real operating conditions, enabling efficient centralized management through a single graphical platform.

System validation was carried out through simulation, which made it possible to test the functional behavior without physical deployment. This solution provides significant improvements over traditional manual systems by enhancing operational safety, minimizing electrical hazards due to direct panel access, and enabling better remote supervision. The proposed design aligns with modern industrial automation principles, offering a scalable, functional, and adaptable alternative for similar production environments.

Keywords: Industrial automation, PLC LOGO, Web Server.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	2
AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
TABLA DE CONTENIDO.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE TABLAS	13
CAPITULO I	14
1 Título.....	14
1.1 Antecedentes.	14
1.2 Justificación	17
1.3 Propuesta.....	18
1.4 Objetivo General.....	19
1.4.1 Objetivos Específicos.....	19
CAPITULO II	21
2 Marco Teórico.....	21
2.1 Automatización Industrial.....	21
2.2 Evolución de la Automatización	21
2.3 Centro de Control de Motores (CCM)	22
2.3.1 Concepto y nuevas funciones.....	22
2.4 Tipos de Centros de Control de Motores	23
2.4.1 Según el nivel de voltaje.....	23
2.4.2 Según su configuración.....	24
2.4.3 Según su construcción.....	25
2.5 Composición de un Centro de Control de Motores	25
2.6 Ventajas de la Utilización de Centro de Control de Motores Inteligente	26
2.7 Controladores Lógicos Programables (PLC)	27
2.8 Arquitectura del PLC	28
2.9 Lenguajes de programación de PLC	29

2.10	PLC Siemens LOGO.....	30
2.10.1	Características técnicas	30
2.10.2	Programación mediante LOGO Soft Comfort	31
2.10.3	Aplicaciones comunes en pequeñas automatizaciones industriales	31
2.11	Supervisión y Monitoreo Remoto.....	33
2.12	Web Server Integrado de LOGO! Siemens.	33
2.13	Protocolos de Comunicación de LOGO!	34
2.14	Integración del Sistema de Automatismo con Web Server y CCM.....	35
2.14.1	Sincronización entre CCM, LOGO y Web Server.....	35
CAPITULO III.....		38
3	Metodología	38
3.1	Descripción general de una planta industrial de agregados	38
3.2	Descripción del proceso productivo de la planta industrial de agregados	39
3.3	Alcance del proceso a automatizar	41
3.3.1	Modos de operación implementados	43
3.3.2	Automatización del proceso de alimentación y almacenamiento inicial.....	43
3.3.3	Automatización de la primera etapa de clasificación	44
3.3.4	Automatización de la segunda etapa de clasificación y rechazo de material.....	44
3.3.5	Seguridad y protección del sistema.....	44
3.3.6	Supervisión y mantenimiento del sistema.....	45
3.3.7	Delimitación del alcance de la automatización.....	45
3.4	Identificación de entradas y salidas del sistema	45
3.5	Selección del sistema de control	48
3.6	Diagrama funcional del sistema de control.....	49
CAPITULO IV.....		51
4	Desarrollo del Sistema de Control con PLC LOGO	51
4.1	Arquitectura del Sistema de Control.....	51
4.1.1	Descripción general de la arquitectura.....	52
4.1.2	Distribución de entradas y salidas por controlador.....	52
4.1.3	Funciones de los PLC's LOGO maestro y esclavos	57

4.2	Desarrollo de la lógica de control del sistema	58
4.2.1	Enfoque de programación del sistema en LOGO Soft Comfort	58
4.2.2	Organización funcional del programa.....	59
4.3	Implementación del sistema de monitoreo mediante Web Server LOGO	61
4.3.1	Integración del Web Server en la arquitectura del sistema.....	61
4.3.2	Objetivo del sistema de supervisión	62
4.3.3	Diseño de las pantallas de supervisión.....	63
CAPITULO V		67
5	Conclusiones y Recomendaciones	67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	68
CAPITULO VI.....		69
6	Bibliografía	69
ANEXOS		72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Interfaz del servidor Web integrado de LOGO!.....</i>	<i>34</i>
Figura 2	<i>Diagrama básico de comunicación entre LOGO! y Web Sever.....</i>	<i>36</i>
Figura 3	<i>CCM tablero principal</i>	<i>37</i>
Figura 4	<i>Diagrama del proceso productivo de la planta industrial de agregados ...</i>	<i>41</i>
Figura 5	<i>Diagrama de bloques del proceso automatizado</i>	<i>42</i>
Figura 6	<i>Diagrama funcional del sistema de control</i>	<i>50</i>
Figura 7	<i>Arquitectura del sistema de control en el programa LOGO Soft Comfort .</i>	<i>52</i>
Figura 8	<i>Distribución de entradas y salidas PLC maestro.....</i>	<i>53</i>
Figura 9	<i>Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 1.....</i>	<i>53</i>
Figura 10	<i>Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 2.....</i>	<i>54</i>
Figura 11	<i>Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 3.....</i>	<i>55</i>
Figura 12	<i>Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 4.....</i>	<i>56</i>
Figura 13	<i>Pantalla de supervisión del estado de motores (1-5) desde Web Server</i>	<i>63</i>
Figura 14	<i>Pantalla de supervisión del estado de motores (6-9) desde el LOGO Web Server.....</i>	<i>64</i>
Figura 15	<i>Pantalla de monitoreo del tiempo de operación del motor en LOGO Web Server.....</i>	<i>64</i>
Figura 16	<i>Pantalla de notificación de falla térmica del motor en LOGO Web Server</i>	<i>65</i>
Figura 17	<i>Pantalla de notificación de cierre incompleto de tolva en LOGO Web Server.....</i>	<i>66</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tabla de Entradas del Sistema Automatizado</i>	<i>46</i>
Tabla 2	<i>Tabla de Salidas del Sistema Automatizado</i>	<i>47</i>

CAPITULO I

1 Título

DISEÑO DE CONTROL PARA AUTOMATIZACIÓN DE CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM) DE PLANTA INDUSTRIAL DE AGREGADOS UTILIZANDO PLC's LOGO Y MONITOREO GRAFICO DESDE WEB SERVER INTEGRADO.

1.1 Antecedentes.

De acuerdo con (Seraz & Vipin Kumar, 2025) la automatización industrial ha avanzado significativamente en los últimos años, permitiendo mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y aumentar la seguridad en diversas industrias. Los sistemas de automatización han permitido la implementación de centros de control para gestionar de manera eficiente motores y maquinaria en plantas industriales, optimizando el control de procesos, reduciendo errores humanos y facilitando el mantenimiento.

Como señala (Automation Electric & Controls, 2023) en la industria de agregados, dedicada a la producción de materiales pétreos como grava arena y piedra triturada para la construcción, el control eficiente de los motores que intervienen en procesos como trituración, cribado y transporte es esencial para garantizar la continuidad y calidad del proceso productivo. Estas etapas se articulan en circuitos de trituración y clasificación donde los agregados atraviesan varios trituradores y cribas vibrantes antes de ser trasladados mediante bandas transportadoras o sistemas de almacenamiento intermedio.

Tradicionalmente, estas operaciones requerían intervención manual permanente, lo que las hacía propensas a errores, paros inesperados y baja frecuencia operativa. La automatización mediante sistemas de control integrados con sensores de nivel carga y vibración permiten mantener condiciones óptimas de alimentación y operación del equipo, reduciendo tiempos de paro, retrabajos y la dependencia del operario (Onnela & Svein Danielsen, 2019).

Desde el punto de vista de (Murshalin, Halder, Sharif, Shajib, & Mir Afzal, 2024) el uso de controladores lógicos programables (PLC's) ha sido uno de los desarrollos más importantes en la automatización de sistemas industriales. Los PLC's, especialmente los modelos compactos como los LOGO de Siemens, permiten automatizar procesos de control de motores en plantas industriales de manera más accesible y flexible, así mismo, el monitoreo remoto mediante servidores web integrados ha permitido un mayor control y supervisión, brindando la posibilidad de acceder al estado de la planta desde cualquier ubicación, lo que es un beneficio crucial en términos de mantenimiento predictivo y la eficiencia operativa. Este tipo de tecnologías ha reducido la necesidad de tener personal en sitio para controlar manualmente los procesos, optimizando los recursos humanos y mejorando la capacidad de respuesta ante cualquier fallo.

Como señala (Guldner, 2020) un caso reciente y representativo en la aplicación de automatización y control en el sector minero y de agregados corresponde al proyecto desarrollado en 2020 por la empresa Geneva Rock Products, ubicada en el estado de Utah, Estados Unidos. La empresa enfrentaba altos costos energéticos debido al consumo intensivo de sus motores de trituración, transporte y clasificación de manera que, para optimizar su operación recurrió a la empresa Energy Management Corporation (EMC), especializada en soluciones de control y eficiencia energética en entornos industriales.

El proyecto incluyó la implementación de PLC's industriales, variadores de frecuencia y un sistema maestro de control que regulaba de forma automatizada el arranque, parada y secuenciación de motores, adaptándose a los horarios de tarifa eléctrica y la demanda del proceso, además, se integraron sensores y un sistema de monitoreo en tiempo real que permitía supervisar el comportamiento energético y detectar condiciones anómalas, habilitando acciones preventivas. Como resultado Geneva Rock logró una reducción significativa de costos

energéticos, mejoró la confiabilidad de sus sistemas eléctricos y aumentó la eficiencia operativa general.

Este caso demuestra cómo la automatización mediante PLC's combinada con monitoreo inteligente es una estrategia efectiva para optimizar procesos en la industria de agregados y aunque el proyecto utilizó PLC's industriales de gama alta y variadores especializados, su lógica de control puede adaptarse a sistemas más compactos como los PLC's LOGO, especialmente en plantas pequeñas o módulos específicos del proceso, como los centros de control de motores (CCM), foco principal del presente trabajo.

De acuerdo con (SIEMENS, 2022) la empresa Oshawa Bearing ubicada en Ontario, Canadá, llevó a cabo en el año 2022 un proyecto de modernización completa de su centro de control de motores (CCM) con el apoyo de Siemens, como parte de una estrategia para aumentar la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia operativa de su planta de manufactura. La instalación contaba originalmente con un CCM obsoleto y sin capacidad de monitoreo avanzado, lo que dificultaba el diagnóstico de fallas y el mantenimiento preventivo, generando tiempos de paro innecesarios.

La solución implementada consistió en reemplazar el sistema existente por un CCM moderno Siemens tipo tiastar, equipado con SIMOCODE pro, módulos inteligentes de control y protección de motores. Este nuevo sistema permitió el control detallado de los motores, diagnóstico continuo de condiciones de operación y monitoreo remoto a través de una red de comunicación integrada, además, se redujo el espacio físico requerido para el CCM, optimizando el diseño del tablero y facilitando el acceso para operaciones y mantenimiento. Entre los principales beneficios reportados tras la implementación, se destacan la disminución del tiempo de diagnóstico de fallas, el incremento de la seguridad eléctrica mediante seccionadores mejorados, y la posibilidad de integrar el sistema a una red SCADA o plataforma de mantenimiento predictivo.

En palabras de (Opensoft Systems, 2021) en una planta de agregados ubicada en South Yorkshire, Reino Unido, operada por Breedon Group, se presentaban fallos recurrentes en el sistema SCADA original que gestionaba los procesos productivos. Estas fallas ocasionaban la pérdida de los datos de producción diaria, lo que comprometía tanto el control del proceso como la capacidad de la empresa para registrar información crítica sobre su operación, ante esta situación, la empresa recurrió a Opensoft Systems con el objetivo de implementar una solución robusta y a prueba de fallos.

La propuesta técnica ejecutada consistió en la virtualización completa de las estaciones SCADA y de ingeniería, utilizando el sistema Active Virtualisation Software (AVS) operando sobre dos servidores VMware independientes. Esta configuración permite que ambas estaciones virtualizadas funcionen en paralelo, asegurando que, en caso de que uno de los servidores falle, el otro continúe operando sin interrupciones, además, esta arquitectura facilita la recuperación automática del sistema, eliminando los tiempos de inactividad asociados a caídas del software de supervisión. Gracias a esta implementación, la planta obtuvo un sistema de control más resiliente y confiable, con capacidad de conmutación automática ante fallos de hardware, y con ello se evitó la pérdida de datos de producción.

1.2 Justificación

En la Industria de agregados se observa que muchas plantas industriales todavía operan con sistemas de control manual o tecnologías limitadas que no permiten supervisión remota ni automatización de procesos. Esta situación representa una desventaja operativa, ya que el control depende directamente del operador, lo que puede generar errores, demoras y mayor desgaste en los equipos, además, al no contar con sistemas que permitan visualizar el estado de los motores en tiempo real, se vuelve difícil aplicar estrategias de mantenimiento oportuno o anticipado, lo que a la larga afecta la eficiencia del sistema. Desde el punto de vista eléctrico, también se desperdicia energía por la falta de coordinación entre equipos o por encendidos

innecesarios. Este contexto evidencia la necesidad de implementar soluciones técnicas modernas que permitan optimizar la gestión de los motores en planta, mejorar la disponibilidad operativa y facilitar la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

El presente proyecto de tesis es elaborado con el fin de presentar una propuesta económica y accesible para la elaboración de un centro de control de motores de una planta industrial de agregados, junto con un sistema de monitoreo moderno a través de *web server* integrado ya que en la actualidad se hace cada vez más presente la necesidad de implementar sistemas modernos de control y de automatización en cualquier proceso.

La idea de optimizar la producción o manejar de manera más precisa los tiempos de ejecución obteniendo mejores resultados empresariales, a su vez, permitirá una supervisión en tiempo real de los procesos facilitando la detección temprana o anticipada de algún problema que llevaría a su vez la pronta implementación de algún tipo de mantenimiento de ser requerido, prolongando la vida útil de los equipos, maximizando así las ganancias de la inversión inicial, y de igual forma reduciendo la intervención humana contribuyendo a la reducción de costos operativos. Así, el proyecto no sólo mejorará las operaciones actuales, sino que también establecerá un modelo de operación alineado con las tendencias de eficiencia, digitalización y sostenibilidad en el sector industrial.

1.3 Propuesta.

La propuesta del proyecto se centra en el diseño e implementación de un Centro de Control de Motores (CCM) para una planta industrial de agregados, orientado a optimizar la operación, incrementar la seguridad y facilitar la supervisión del proceso productivo mediante el uso de controladores lógicos programables (PLC's) y herramientas de monitoreo integradas. El sistema propuesto adoptará una arquitectura de control distribuida compuesta por múltiples PLC's LOGO de Siemens interconectados en red Ethernet, en la cual uno de los controladores

actuará como maestro y los restantes como esclavos, permitiendo coordinar de manera centralizada operaciones de control que intervienen en distintas etapas del proceso.

Para facilitar aún más el monitoreo y control del sistema se utilizará un equipo de cómputo conectado a un servidor web integrado, en donde la interfaz gráfica permitirá al operador supervisar el estado del sistema en tiempo real desde cualquier dispositivo con acceso a la red, visualizando parámetros operativos críticos de los motores y del proceso en general. Esto no solo facilita la detección temprana de fallas y reduce la necesidad de intervención manual en el sitio, sino que también mejora la seguridad y el mantenimiento del sistema mediante un monitoreo remoto constante.

1.4 Objetivo General.

Diseñar un control automatizado de centro de control motores (CCM) de planta industrial de agregados utilizando PLC's logo y monitoreo grafico desde web server integrado.

1.4.1 Objetivos Específicos.

- Identificar y analizar las variables clave que intervienen en el proceso productivo de la planta industrial de agregados, el flujo de materiales y tiempos de operación para asegurar que el diseño del sistema de control automatizado responda a las necesidades específicas del proceso.
- Programar la aplicación de control del sistema en el programa LOGO Soft Comfort utilizando una arquitectura distribuida basada en varios PLC's LOGO interconectados en red, de manera que se gestione de forma precisa el arranque, parada y protección de los motores, alineado con el proceso productivo de la planta industrial de agregados.

- Establecer una conexión efectiva entre el sistema de control automatizado y el servidor web, permitiendo la visualización en tiempo real de las variables críticas del proceso y el estado de los motores desde cualquier dispositivo conectado a la red.
- Validar el desempeño del sistema de automatización en condiciones simuladas, verificando la precisión en el control y la capacidad del sistema para responder a variaciones en los parámetros productivos, llevando a cabo la optimización de los procesos productivos en función de los resultados obtenidos.

CAPITULO II

2 Marco Teórico.

2.1 Automatización Industrial.

La automatización industrial se refiere hacer uso de las tecnologías disponibles para controlar equipos y procesos en la industria con la mínima cantidad de intervención de mano de obra humana, y parte de la utilización o inclusión de estas tecnologías es mejorar la eficiencia del proceso, así mismo la calidad del producto e ir reduciendo los costos de operación para maximizar las ganancias. Según Groover (2016), “La automatización de los sistemas que respaldan la fabricación busca reducir el trabajo manual y administrativo en el diseño de productos, la planificación y el control de la producción, así como en las actividades empresariales de la compañía” (p. 25).

En el contexto de las compañías de agregados, los sistemas automatizados permiten tener un mejor control sobre los motores, así mismo bandas transportadoras, cribas vibratorias y demás procesos, de una manera centralizada y totalmente optimizada teniendo como consecuencia la reducción de paradas imprevistas o no planificadas del proceso de producción lo que a su vez lleva a mejorar la productividad.

2.2 Evolución de la Automatización

La industria y la automatización han evolucionado desde mecanismos mecánicos simples hasta sistemas ciberfísicos y control digital, yendo de la mano para mejorar los procesos de construcción, manufactura, diseño y demás aspectos que mueven al mundo. Hermann, Pentek, & Otto (2016) explican que:

La primera revolución industrial estuvo marcada por la introducción de sistemas de producción mecánicos, iniciándose en la segunda mitad del siglo XVIII y extendiéndose a lo largo del siglo XIX, a partir de la década de 1870 la electrificación y la organización científica

del trabajo (Taylorismo) impulsaron la segunda revolución industrial. La tercera revolución, conocida como “revolución digital”, emergió hacia la década de 1970 con el desarrollo de la electrónica avanzada y las tecnologías de la información, lo que permitió una automatización más sofisticada de los procesos productivos (p.2).

La evolución ha permitido que las tareas antes realizadas de forma manual se regulen con algoritmos integrados en controladores lógicos programables (PLC), optimizando el uso de energía, reduciendo el tiempo de respuesta y la mejora de la trazabilidad del proceso.

2.3 Centro de Control de Motores (CCM)

2.3.1 Concepto y nuevas funciones

Un Centro de Control de Motores (CCM) es un conjunto de dispositivos eléctricos diseñados para arrancar, proteger, controlar y monitorear motores eléctricos desde una ubicación centralizada. Según Industria (2023), un Centro de Control de Motores está conformado, en su diseño, básico por un gabinete metálico que se divide internamente en varias secciones verticales independientes entre sí que suelen contar con una clasificación de protección NEMA o IP, lo que le permite resistir la entrada de polvo, agua u otros contaminantes del ambiente y en casos donde las condiciones de operación son severas, el CCM puede instalarse de forma remota, alejándolo del área de maquinaria o incluso ubicándolo en una sala con control climático para garantizar su funcionamiento estable.

La principal finalidad de un Centro de Control de Motores es reunir en un solo sistema de control varios motores eléctricos, lo que facilita su operación, mantenimiento y monitoreo. Este tipo de solución resulta útil en ambientes industriales donde se utilizan muchos motores, así como en plantas de procesamiento de agregados, sistemas de tratamiento de aguas, minería o líneas de producción, ya que al tener un control centralizado se optimiza la eficiencia operativa, ocupando menos espacio físico para la instalación de equipos y por ende las tareas de mantenimiento se vuelven más simples.

De acuerdo con Rockwell Automation (2022), explican que los Centros de Control de Motores modernos pueden incluir tecnologías avanzadas enfocadas en el tema de seguridad como lo es la contención de arco eléctrico, la posibilidad de conectar o desconectar la alimentación eléctrica sin necesidad de abrir el gabinete reduciendo significativamente el riesgo de exposición del personal a fallas eléctricas, así como también utilizando un sistema de validación multipunto llamado SecureConnect en donde asegura que el suministro eléctrico esté completamente interrumpido antes de permitir la apertura de la puerta del compartimiento.

2.4 Tipos de Centros de Control de Motores

Desde el punto de vista de la ingeniería aplicada, la clasificación de los Centros de Control de Motores responde a la necesidad de seleccionar la solución más adecuada en función de los requerimientos técnicos de cada instalación, para ello, es común organizarlos según tres criterios fundamentales: el nivel de voltaje con el que operan, la configuración del sistema de control que incorporan (ya sea convencional o basada en automatización inteligente), y el tipo de construcción física del gabinete o armario que los conforma. Esta forma de estructurarlos no solo facilita el diseño y la selección del CCM en función de la criticidad de los motores, sino que también permite una mejor adaptación a las condiciones de trabajo, las exigencias de mantenimiento, los estándares de seguridad y la posibilidad de integración con sistemas de supervisión remota (Spada, 2018).

2.4.1 Según el nivel de voltaje.

Los Centros de Control de Motores se dividen en dos clasificaciones distintas: Baja tensión y Media tensión. En ambos tipos cada unidad de control está compuesta por elementos esenciales para garantizar una operación segura y eficiente del motor, entre estos componentes se encuentran los contactores o controladores de estado sólido, los relevadores térmicos de sobrecarga, dispositivos de protección contra cortocircuito como fusibles o interruptores automáticos, y un seccionador que permite aislar eléctricamente el motor cuando es necesario.

La alimentación trifásica se conecta a cada controlador mediante acoples desmontables, y el motor se vincula eléctricamente a través de bornes del controlador (Spada, 2018).

- Los CCM de baja tensión se utilizan para motores de corriente alterna trifásicos de baja tensión, desde 230 V hasta menos de 1000 V.
- Los CCM de Media Tensión se utilizan para motores grandes que requieren de 1000 V a aproximadamente 15000 V

2.4.2 Según su configuración.

De acuerdo con (Spada, 2018) una de las principales ventajas de los CCM es su capacidad para agrupar los dispositivos de arranque, protección y supervisión de motores eléctricos en un mismo gabinete, permitiendo una instalación más organizada, segura y escalable. Los centros de control de motores pueden configurarse de distintas formas según las necesidades del entorno industrial, y su diseño modular permite integrar múltiples unidades de control dentro de una estructura común y se dividen en:

- Convencionales: Operan con dispositivos electromecánicos como contactores, relés térmicos y temporizadores en donde su control es manual o mediante cableado lógico fijo.
- Inteligentes: Incorporan Controladores Lógicos Programables para un control digital, arrancadores suaves, interruptores automáticos, permitiendo mayor flexibilidad que pueda proporcionar información a través de una red interna que a su vez puede ser compatible con redes de comunicación a sistemas de nivel superior en la operación.

2.4.3 Según su construcción.

La manera en que se construyen los centros de control de motores influye directamente en su funcionalidad, seguridad y facilidad de mantenimiento. Como señala (Eaton, 2023) normalmente un CCM está formado por gabinetes metálicos organizados en módulos verticales, donde cada módulo puede contener contactores, relés interruptores o arrancadores en donde internamente se dividen en compartimientos que separan el cableado, las barras de potencia y los dispositivos de control donde esto permite realizar mantenimientos parciales sin tener que desconectar todo el sistema, lo que es clave para plantas industriales que no pueden detener sus procesos. Según esta construcción se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Gabinetes individuales: Se usan cuando cada motor necesita su propio espacio físico, son comunes en instalaciones simples o donde se requiere una separación estricta entre motores.
- Tipo compartimentado: Tienen divisiones internas que aíslan cada unidad, lo cual mejora la seguridad y permite trabajos de mantenimiento sin afectar a las otras partes del sistema.
- Armario seccionado para mantenimiento en línea: Están pensados para entornos industriales donde no es posible detener la operación y su diseño permite intervenir una parte del CCM mientras el resto sigue funcionando normalmente.

2.5 Composición de un Centro de Control de Motores

La composición de un Centro de Control de Motores (CCM) se basa en la integración ordenada de componentes eléctricos diseñados para controlar, proteger y supervisar motores eléctricos desde un solo punto centralizado. Además, en los CCM modernos es común la inclusión de controladores lógicos programables (PLCs), indicadores luminosos, interruptores de mando y sistemas de monitoreo digital donde esta disposición modular facilita el

mantenimiento, reduce tiempos de parada y mejora la eficiencia operativa respondiendo así a las exigencias actuales de automatización y conectividad inteligente en entornos críticos (Rockwell Automation, 2023).

Rockwell Automation (2021) nos indica que:

Los centros de control de motores incluyen:

- Unidades desmontables o unidades fijas.
- Alta densidad de unidades, hasta 24 unidades por columna
- Manetas rotativas
- Capacidad para sistemas de alimentación eléctrica de tres o cuatro conductores
- Bus horizontal de montaje central hasta 4000 A
- Diseño totalmente métrico (dimensiones del hardware y dimensiones exteriores)
- Hay disponibles alimentadores y unidades de conexión a la red eléctrica con disyuntores de aire
- Las funciones de seguridad estándar, como las zonas sin arco, el refuerzo de bus continuo y los conjuntos de clips de alimentación eléctrica de una unidad aislada, ayudan a empleados a mantener sus procesos en constante actividad.

2.6 Ventajas de la Utilización de Centro de Control de Motores Inteligente

En la actualidad, los Centros de Control de Motores Inteligentes (iMCC) representan una solución avanzada frente a los sistemas convencionales, ya que integran tecnología de automatización y redes de comunicación industrial que permiten monitorear, diagnosticar y controlar los motores de forma más eficiente. Tal como señala (Rockwell Automation, 2023) estos sistemas integran busbars para potencia y control, conexiones plug-in seguras (unit stab connections) y estructuras redundantes que mejoran la disponibilidad.

En las palabras de WEG (2018) las ventajas son:

- Monitoreo, supervisión y control a distancia vía HMI, PLC, PC o red.
- Fiabilidad para la continuidad del proceso
- Instalación en locales centralizados para la facilidad de operación y mantenimiento
- Versatibilidad para comando y protección de un gran número de motores
- Mayor fiabilidad en el sistema de protección
- Reducción de varios componentes de la unidad funcional como, por ejemplo, contadores de hora y de maniobra, relés térmicos de sobrecarga convencional, transformadores de corriente, etc.
- Reducción del cableado de mando
- Montaje del Relé Inteligente en el riel DIN o placa de montaje
- Rearmado del relé a distancia, reduciendo el tiempo de mantenimiento
- Rapidez y precisión en la identificación de defectos
- Automatización de los registros y estadísticas de defecto por unidad
- Red Profibus-DP normalizado mundialmente (no es red propietaria) o DeviceNet
- Comunicación con otros PLCs en red de protocolo abierto

2.7 Controladores Lógicos Programables (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un tipo de controlador industrial que permite mejorar la seguridad en entornos industriales mediante simulación y edición de datos industriales (Zhipeng, Xuejiao, & Jiwei, 2020, p.2). La memoria del sistema PLC es capaz de ejecutar diversas operaciones específicas, como operaciones secuenciales y lógicas. Además, permite la expansión de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, lo que facilita el control de motores e instrumentos.

A diferencia de los sistemas tradicionales que requerían mucho cableado y eran poco flexibles, el PLC usa tecnología de cómputo y control con contactores para reemplazar relés

mecánicos, esto mejora la precisión del sistema acercando el tiempo de respuesta a cero. Además, este mismo permite ampliar entradas y salidas digitales o analógicas, facilitando el control de motores, sensores e instrumentos, que, por otra parte, también es resistente a interferencias eléctricas lo que lo hace ideal para ambientes industriales exigentes y es fácil de programar, lo que simplifica su uso en la operación diaria (George Brown College, 2023).

2.8 Arquitectura del PLC

La arquitectura o estructura interna de un Controlador Lógico Programable (PLC) está compuesta por módulos especializados que actúan de manera coordinada para ejecutar tareas de automatización industrial con alta fiabilidad. El componente principal es la Unidad Central de Procesamiento (CPU), la cual se encarga de interpretar y ejecutar el programa de control previamente cargado en memoria, procesando las señales recibidas desde sensores y generando las órdenes correspondientes hacia los actuadores del sistema donde para establecer esta interacción con el entorno físico, el PLC incorpora módulos de entradas y salidas tanto digitales como analógicos, que permiten captar variables de proceso y enviar señales de control (Process Solutions, Inc, 2020).

Argumenta GSL Industrias (2021) que:

La arquitectura del PLC ha sido diseñada para ejecutar una variedad de funciones, entre las que se encuentran tenemos:

- Temporizador: Controla conexiones y desconexiones, es vital en muchos procesos de automatización industrial.
- Secuenciador: Sus dos principales funciones son identificar variables físicas a nivel remoto, según criterios preestablecidos accionar en equipos remotos.

- Relevador: Artefacto electromecánico dirigido por un sistema o circuito eléctrico en el que mediante un electroimán se accionan varios contactos permitiendo que se abran o cierren circuitos eléctricos independientes.
- Contador: Activa memorias o salidas internas cuando su registro de conteo concuerda con valores específicamente definidos.
- Aritméticas/Lógicas: Realiza operaciones y cálculos aritméticos usando operandos del modo palabras, el resultado de las operaciones son trasladadas a otra palabra y las operaciones son adición, sustracción, multiplicación, división y raíz cuadrada.

2.9 Lenguajes de programación de PLC

“Cuando se habla de los lenguajes de programación se hace referencia a diferentes formas de poder escribir el programa usuario” (M.Moreno, 2002, p.41). Los programas actuales para PLC permiten convertir el código del usuario entre distintos lenguajes de programación, facilitando así su desarrollo en el formato que mejor se adapte a cada necesidad o preferencia. Dado el aumento en la complejidad de los procesos programables, se ha vuelto fundamental contar con una programación estandarizada, para ello la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) estableció la norma IEC 1131-3 (también conocida como IEC 65), que define los lenguajes de programación aceptados para autómatas programables.

Esta norma fue reconocida oficialmente como estándar internacional en Agosto de 1992, con el objetivo de abarcar una amplia variedad de aplicaciones industriales se especificaron cinco lenguajes de programación dentro de este estándar:

- Gráfico secuencial de funciones (Grafcet)
- Lista de Instrucciones
- Texto estructurado
- Diagrama de flujo

- Diagrama de contactos o Lógica de Escalera o Ladder Logic

2.10 PLC Siemens LOGO

2.10.1 Características técnicas

El PLC Logo de Siemens se destaca por su diseño compacto y su capacidad de adaptación en aplicaciones de automatización de baja y media complejidad, tanto en entornos industriales como comerciales. De acuerdo con (SIEMENS, 2021) esta serie ofrece configuraciones flexibles y la opción de añadir módulos analógicos, lo cual facilita su adaptación a distintos tipos de procesos, como son la inclusión de capacidades de red a través de un puerto Ethernet y un servidor web integrado, lo que habilita el monitoreo remoto y la programación desde un navegador.

Como señala SIEMENS (2021), la hoja de datos del fabricante del PLC las características técnicas son las siguientes:

- Un display
- Soporta 12/24 VDC
- El voltaje menor con el que puede ser energizado es 10.8 V
- El voltaje mayor con el que puede ser realizado es 28.8 V
- Ocho entradas digitales de las cuales cuatro pueden ser usadas como entradas analógicas (0-10 V)
- Cuatro salidas de relevador
- No cuenta con fusible interno, requiere uno externo
- La corriente de salida es de 10 A para cargas resistivas, para cargas inductivas son 3 A
- Puede trabajar correctamente entre -20°C y 55°C

2.10.2 Programación mediante LOGO Soft Comfort

De acuerdo a SIEMENS (2022) explica que:

LOGO Soft Comfort permite crear programas de forma eficaz, cómoda, confortable y clara en el PC, una vez creado el programa puede evaluar qué variante de LOGO se requiere para el programa ya terminado o puede definir con antelación para qué variante de LOGO desea crear el programa (p.232).

Con el software se dispondrá de las siguientes funciones:

- Creación gráfica de su programa offline como diagrama de escalones (esquema de contacto / esquema de corriente) o como diagrama de bloque de funciones (esquema de funciones)
- Simulación del programa en el ordenador
- Generación e impresión de un esquema general del programa
- Almacenamiento de datos del programa en el disco duro en otro soporte
- Comparación de programas
- Parametrización cómoda de los bloques
- Lectura del contador de horas de funcionamiento
- Ajuste de la hora
- Ajuste del horario de verano e invierno
- Interrupción del procesamiento del programa desde el PC (STOP)

2.10.3 Aplicaciones comunes en pequeñas automatizaciones industriales

El PLC Siemens LOGO se presenta como una herramienta compacta y flexible, ideal para automatizar tareas básicas en distintos entornos industriales y de servicios, gracias a su estructura modular, facilidad de programación y posibilidad de expansión, es una opción eficiente y económica para proyectos a pequeña escala.

Como señala SIEMENS (2022), entre los usos más frecuentes de este controlador destacan:

- Automatización de riego en invernaderos: Control programado del sistema de riego mediante temporizadores o sensores de humedad del suelo, optimizando el uso del recurso hídrico y garantizando condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos.
- Control de bandas transportadoras: Gestión de cintas en procesos industriales, permitiendo funciones de arranque, parada y regulación de velocidad, lo que incrementa la eficiencia de producción y reduce la intervención manual.
- Automatización de persianas o cortinas: Control de apertura y cierre según la hora o condiciones ambientales, favoreciendo el confort térmico y la eficiencia energética en edificaciones.
- Iluminación adaptable en áreas deportivas: Regulación automática de la intensidad lumínica en gimnasios o canchas de acuerdo con el calendario de actividades.
- Secuencia de control en soldadoras para cables de gran calibre: Automatización de los pasos necesarios para soldar conductores de gran sección, reduciendo errores y mejorando la repetibilidad del proceso.
- Registro y monitoreo del tiempo de uso de sistemas energéticos, como paneles solares: Seguimiento de los períodos de operación para evaluar el rendimiento del sistema y anticipar mantenimientos.
- Uso de pedales inteligentes en equipos industriales: Implementación de interfaces ergonómicas que permiten preseleccionar modos o velocidades de trabajo facilitando el control en tiempo real.

2.11 Supervisión y Monitoreo Remoto.

Para la supervisión y monitoreo del proyecto en todo momento, se hará uso de la herramienta del servidor web integrado de LOGO! el cual, de una manera muy dinámica, permite a los operadores acceder a la información que se está tomando y entregando en tiempo real en el lugar donde se tiene instalado el PLC LOGO!, así mismo, permite diagnosticar fallas posibles, ajustar los distintos parámetros en caso de ser necesario de manera que se optimizan los procesos ágilmente, todo eso sin la necesidad de la presencia física de un operador en campo.

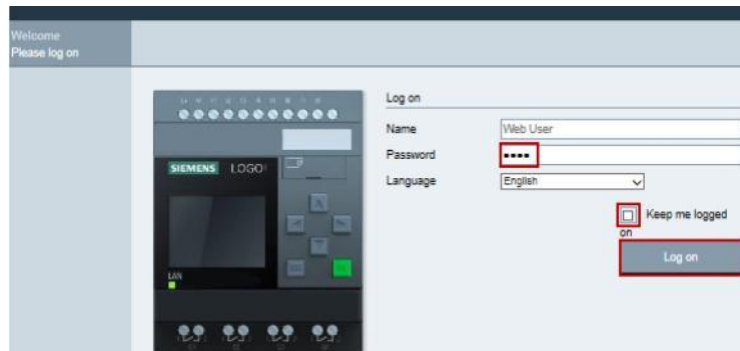
Como afirma Calero (2022) “El monitoreo y control remoto permiten automatizar diversas tareas y procesos en la industria” de esta manera, un solo operador puede tener el acceso a todos los sistemas de control de la fábrica sin necesidad de programar visita y sin la necesidad de requerir de grandes grupos de técnicos para los diversos diagnósticos.

2.12 Web Server Integrado de LOGO! Siemens.

El LOGO! (LOGO! 0BA8) de siemens incorpora un servidor web el cual permite usar el dispositivo y también permite usar el LOGO! TDE (Pantalla HMI) desde un pc o smartphone tradicional. (SIEMENS, 2022). Se puede acceder al módulo a través de su dirección IP a través de dichos dispositivos conectados a internet, su modo de uso es bastante intuitivo y sencillo, ya que se adapta al dispositivo pudiendo usarlo directamente con el puntero del pc o el táctil del smartphone, esto se logra gracias a sus dos protocolos de comunicación web que son HTTP y HTTPS. Al acceder al web server a través de la dirección IP de nuestro LOGO! se presentará una interfaz donde se tendrá que colocar la contraseña de dicho modulo, la cual se debió haber configurado previamente en el software de programación del dispositivo LOGO!, y la ventana de inicio se verá algo así:

Figura 1

Interfaz del servidor Web integrado de LOGO!



Nota. Interfaz de usuario de Web server de LOGO! que precede a los aspectos del programa. Tomada de (Siemens, 2015).

2.13 Protocolos de Comunicación de LOGO!

Como todo equipo de la era actual y que busca la mejor y mayor integración a las necesidades de los usuarios, LOGO! de Siemens incluye varios tipos de comunicación de datos para diferentes aplicaciones, y que son los protocolos de comunicación, según IBM (2025):

Los protocolos de comunicación son los medios por los que una organización se comunica en el entorno de concentrador. Por ejemplo, si la organización que está configurando utiliza un sitio FTP y servicios de correo electrónico para enviar y recibir documentos, los identificaría junto con sus protocolos aquí. Puede crear, modificar y suprimir protocolos de comunicación.

Esto quiere decir que los protocolos de comunicación son los medios por los cuales los diferentes equipos inteligentes de una industria se coordinan para recibir y entregar información, sin estos protocolos, la automatización actual como con la IoT, sería algo imposible, así mismo, estos protocolos se encuentran normalizados por las entidades reguladoras para que todo aquel equipo que haga uso de estos, pueda interactuar con otros

equipos sin necesidad de ser del mismo fabricante, dinamizando de esta manera la industria y su automatización.

Los protocolos principales que usa o tiene disponible el módulo LOGO! de siemens son:

- S7 Protocol
- Modbus TCP
- NTP
- Http
- Https
- Ethernet

2.14 Integración del Sistema de Automatismo con Web Server y CCM.

2.14.1 Sincronización entre CCM, LOGO y Web Server.

Es esencial que la sincronización entre los distintos equipos que conforman cualquier sistema de control sea la más adecuada y fluida, para garantizar el correcto funcionamiento del proceso como lo afirma Contact (2022):

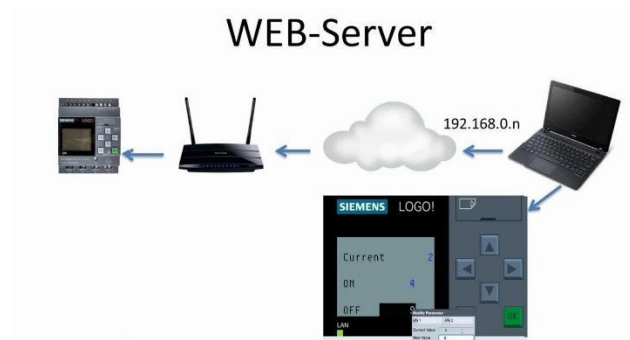
El mundo tiende a estar más interconectado, con dispositivos más inteligentes, capaces de procesar y analizar grandes cantidades de datos, pudiendo, a su vez, aprender a tomar mejores decisiones. Para que estos dispositivos cada vez más inteligentes puedan dar su máximo potencial, requieren una red de interconexión inteligente, flexible, ágil, veloz. (p. 6)

En este contexto, ¡el uso de una conexión mediante Ethernet para acceder a la nube del Web Server de LOGO!, se vuelve algo esencial porque de esta manera, mediante un dispositivo como una laptop o smartphone, se vuelve posible obtener toda la información del estado del

sistema integrado de automatización y del CCM, con una estructura de comunicación parecida a la Figura 2:

Figura 2

Diagrama básico de comunicación entre LOGO! y Web Sever.



Nota. La imagen representa solo la conexión entre LOGO! y el dispositivo de control que sería la laptop, el circuito de control y de CCM se representará en otros diagramas. Tomado de (AISE, 2023)

Como describe Sanchez (2021) “si se implementa una puesta en marcha virtual, se pueden reducir aún más las demoras y los costos generados por comportamientos no planificados”, basándonos en esto podemos intuir que la principal ventaja de la supervisión Web de un proceso es la de prescindir de personal en campo para la comprobación de parámetros de la industria en la que se encuentra el sistema de automatización con supervisión Web y a la vez reducir los costos de operatividad, mantenimiento, supervisión, gestión de datos, etc.,

Otra ventaja de este sistema es el rápido acceso a la información del proceso en cuestión, y gracias a esto podemos tener el control de las variables en un instante, como lo indica el autor Quinte (2018):

En todos los procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la

conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, el módulo de monitoreo nos permite ver estas constantes. (p. 1)

Para la integración de lo anterior con el CCM se adopta una arquitectura distribuida basada en varios PLC's interconectados en red, es decir que si bien el CCM debe tener su gabinete de control como se representa en la Figura 3, los controladores lógicos de Siemens son los que comandarán conjuntamente a dichos motores para el proceso correspondiente y para tener en tiempo real y en cualquier momento la información acerca del funcionamiento del proceso, ya que como se ha explicado, podemos monitorear la continuidad de la cadena de producción a través de este módulo inteligente.

Figura 3

CCM tablero principal



Nota: La figura 3 representa un tablero de un CCM, es decir que es el CCM propiamente dicho y es donde se concentran los mandos y protecciones de todos los motores de la industria. Tomado de (Hbriones, s.f).

CAPITULO III

3 Metodología

3.1 Descripción general de una planta industrial de agregados

Según ((UEPG), 2021) una planta industrial de agregados es una instalación dedicada al procesamiento de materiales pétreos como arena, grava y piedra triturada, los cuales son esenciales para el desarrollo de obras civiles y de infraestructura. Estos materiales, conocidos como agregados, constituyen uno de los principales insumos utilizados en la fabricación de concreto, mezclas asfálticas y obras viales por lo que deben cumplir con especificaciones técnicas estrictas que garanticen su rendimiento en aplicaciones estructurales y de ingeniería civil.

El objetivo principal de este tipo de plantas es transformar la materia prima proveniente de canteras o yacimientos aluviales en productos clasificados según tamaño y forma, adecuados para su uso en obras específicas. Para ello el proceso productivo incluye varias etapas mecánicas que típicamente son trituración, cribado y transporte que permiten obtener una distribución granulométrica controlada conforme a normas como ASTM C33 o normas locales de calidad para agregados (ASTM International, 2018).

Desde el punto de vista operativo, estas plantas están compuestas por un conjunto de equipos interconectados en secuencia, cuya disposición puede variar según la capacidad de producción, tipo de roca y grado de automatización, Sin embargo, es común encontrar elementos como:

- Tolvas de alimentación, donde se recibe el material crudo.
- Trituradoras de mandíbulas o cónicas, utilizadas para la reducción del tamaño.
- Cribas vibratorias, encargadas de separar el material por tamaño.

- Bandas transportadoras, que movilizan el material entre etapas y hasta el acopio final.

El flujo típico de producción inicia con la alimentación del material bruto en una tolva, seguido por una o más etapas de trituración que reducen su tamaño, luego el material pasa por un proceso de clasificación mediante cribas y finalmente es transportado a diferentes zonas de acopio según su granulometría o destino. Esta organización secuencial requiere que todos los equipos operen de manera coordinada, ya que una interrupción en cualquiera de ellos puede detener la línea completa y afectar la eficiencia del sistema (Industries, 2023).

3.2 Descripción del proceso productivo de la planta industrial de agregados

La planta industrial de agregados objeto de estudio en esta tesis desarrolla un proceso de transformación gradual del material pétreo, orientado a obtener productos con características granulométricas específicas adecuados para su aplicación en obras de construcción. Este proceso se basa en una secuencia de operaciones mecánicas que incluyen el transporte, clasificación y reducción de tamaño del material, organizadas de manera lógica y eficiente para garantizar una producción continua y controlada.

El sistema productivo está compuesto por nueve motores eléctricos trifásicos distribuidos estratégicamente a lo largo de la planta, de estos tres motores se destinan a equipos de alta exigencia mecánica, como cribas vibratorias y trituradora, mientras que los seis restantes accionan bandas transportadoras, permitiendo el desplazamiento continuo del material entre las distintas fases del proceso. La operación inicia con la alimentación del material bruto que puede ser roca, grava o materiales pétreos similares hacia una tolva de almacenamiento, mediante una banda transportadora impulsada por un motor de menor potencia, esta primera etapa permite dosificar el flujo de material de entrada, estabilizando la carga para el resto del sistema.

Desde la tolva el material es trasladado por otra banda hacia la primera criba, en la cual se activa uno de los motores de mayor potencia. Este equipo produce el movimiento vibratorio necesario para realizar una clasificación inicial, separando partículas finas del resto del material y evitando que partículas no deseadas ingresen a la siguiente fase que sería la trituración. Una vez clasificado, el material útil es enviado por otra banda a la trituradora de roca impulsada por el segundo motor de alta potencia.

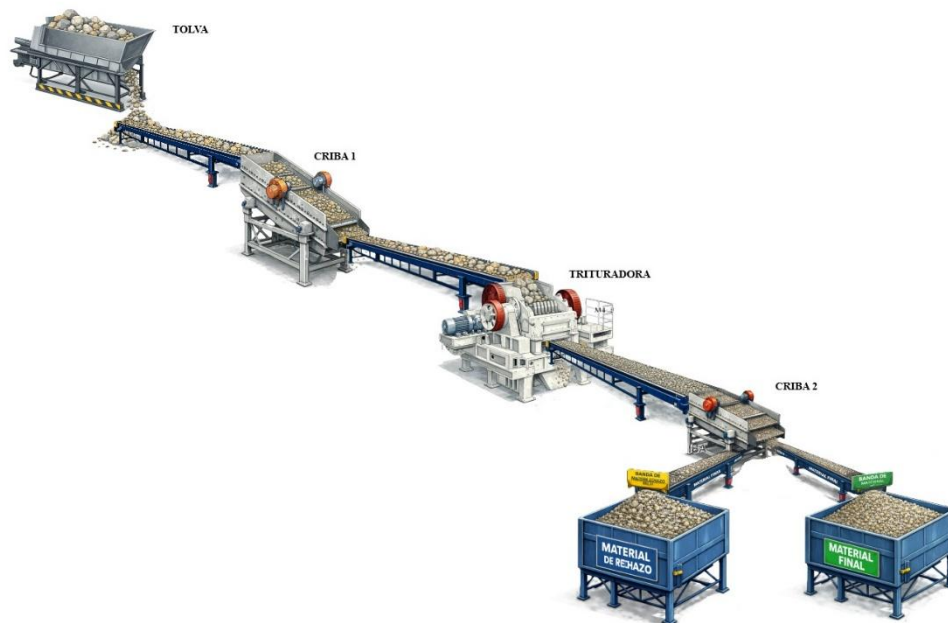
Este equipo reduce significativamente el tamaño de las partículas, permitiendo que cumplan con los criterios técnicos establecidos para su uso posterior. El encendido de la trituradora está condicionado a la detección de material presente, lo cual se logra mediante una señal de sensor simulada, con el fin de evitar que el equipo opere en vacío y se generen desgastes o fallos innecesarios. Tras la trituración el material pasa por otra banda hasta llegar a la segunda criba, donde se realiza una clasificación final con apoyo del tercer motor principal.

En la salida de la segunda criba, el flujo se divide en dos caminos: uno para el material de descarte y otro para el producto final. Cada flujo es conducido por su respectiva banda transportadora, ambas accionadas por motores auxiliares, en donde estas bandas transportan el material hacia las áreas de acopio o carga donde queda listo para su despacho. Desde una perspectiva operativa esta planta se comporta como un sistema secuencial o interdependiente, en el que cada etapa requiere del correcto funcionamiento de la anterior para garantizar la continuidad del proceso. Las bandas aseguran el transporte sincronizado, mientras que las cribas y la trituradora se encargan de transformar el material hasta alcanzar las condiciones deseadas.

A continuación, la Figura 4 presenta de manera secuencial el proceso productivo de la planta industrial de agregados que servirá como base para la definición de variables, selección de actuadores y sensores, así como también el posterior diseño de la lógica de control implementada en el software LOGO Soft Comfort.

Figura 4

Diagrama del proceso productivo de la planta industrial de agregados



Nota. Elaboración propia

3.3 Alcance del proceso a automatizar

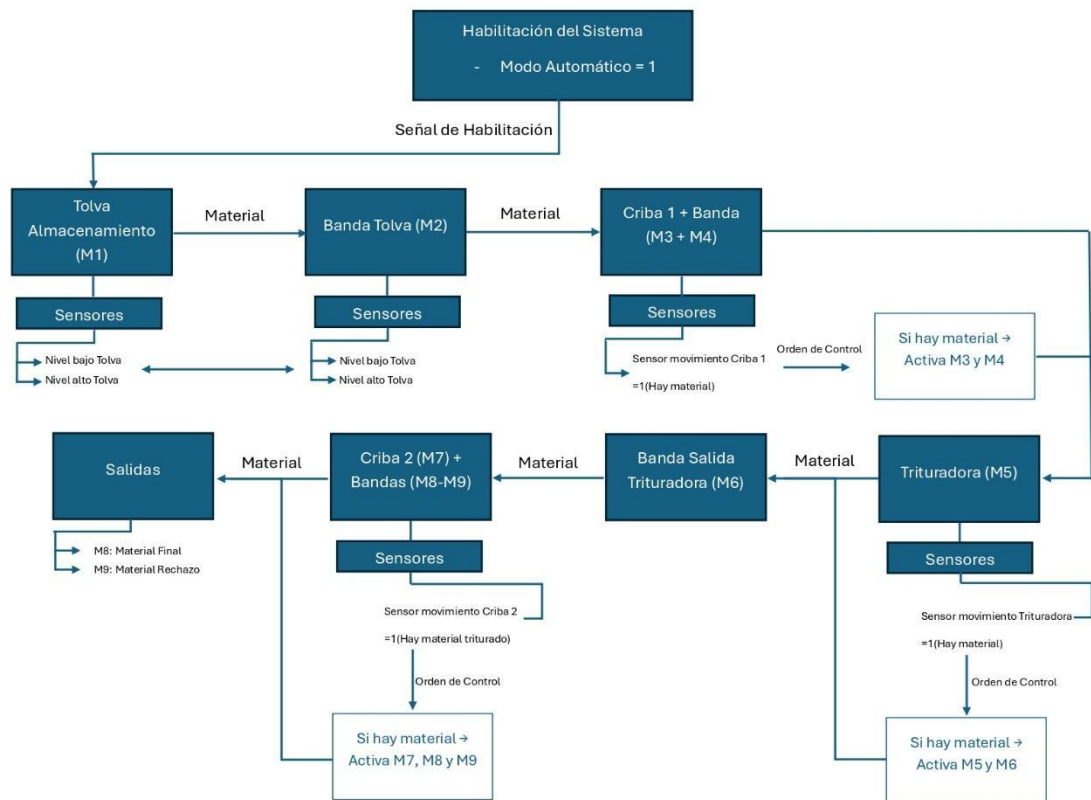
El alcance de automatización definido en este proyecto de tesis parte del análisis operativo de la planta industrial de agregados, considerando sus condiciones reales de funcionamiento y la estructura lógica que se ha desarrollado para su control. El objetivo central de la propuesta es garantizar que los equipos eléctricos involucrados en el procesamiento de material pétreo operen de forma coordinada, segura y eficiente, sin modificar o alterar la naturaleza del proceso productivo.

El sistema de automatización abarca el control completo de nueve motores eléctricos trifásicos, que se reparten a lo largo de distintas etapas del flujo operativo, en donde, estos motores accionan bandas transportadoras, cribas vibratorias y equipos de trituración cuyo

funcionamiento puede gestionarse bajo dos modalidades que serían el modo manual y el modo automático según la necesidad operativa.

Figura 5

Diagrama de bloques del proceso automatizado



Nota. Elaboración propia

En la Figura 5 se presenta el diagrama de bloques mostrando el flujo secuencial del proceso, representando de forma clara todos los puntos y elementos que se automatizarán. Permitiendo identificar condiciones de operación, señales involucradas y la secuencia lógica de funcionamiento de los equipos, sirviendo como base para la descripción detallada de cada una de las etapas automatizadas que se desarrollan a continuación.

3.3.1 Modos de operación implementados

Tenemos el modo manual que, al energizarse el sistema, este inicia por defecto en ese estado. En esta modalidad el operador tiene control directo sobre cada motor mediante pulsadores individuales sin depender de la lógica secuencial del proceso, este modo es especialmente útil para mantenimiento, pruebas o puesta en marcha por etapas, y está respaldado por enclavamientos que aseguran que un motor se mantenga en marcha sólo hasta que se active una condición de paro o emergencia.

Por otra parte, está el modo automático, este modo debe ser seleccionado manualmente por el operador, y en esta modalidad el funcionamiento de los motores responde a una lógica secuencial basada en condiciones reales del proceso, como la detección de material o la activación previa de otros equipos. Esta lógica evita arranques arbitrarios y permite una operación supervisada y confiable.

3.3.2 Automatización del proceso de alimentación y almacenamiento inicial

El proceso del sistema automatizado inicia con la gestión del ingreso del material virgen hacia la tolva de almacenamiento mediante la acción coordinada de dos motores asociados a bandas transportadoras, en donde el sistema emplea sensores de nivel alto y nivel bajo instalados en la tolva, los cuales permiten determinar el estado de llenado. Cuando la tolva se encuentra vacía o por debajo del nivel mínimo establecido, el motor de la banda transportadora de alimentación se activa automáticamente permitiendo el paso del material hacia la tolva.

Una vez que el sensor de nivel alto detecta que la tolva ha alcanzado su capacidad máxima, dicho motor se detiene y se habilita el funcionamiento del motor de la banda de salida de la tolva que se encarga de transportar el material hacia la siguiente etapa del proceso. Así, con esta lógica de control se evita el sobrellenado de la tolva y se asegura una alimentación regulada y continua hacia el sistema de clasificación inicial.

3.3.3 Automatización de la primera etapa de clasificación

El material proveniente de la tolva es llevado hacia la primera criba vibratoria, cuyo funcionamiento está ligado a un motor de mayor potencia, en el que el accionamiento de esta criba se encuentra condicionado por un sensor de movimiento, el cual se da cuenta de la presencia de material ingresando al equipo. Cuando el sensor da la señal de ingreso del material, el sistema habilita el funcionamiento de la criba, permitiendo así, la separación inicial de partículas finas y del material principal. Seguido entonces de manera simultánea se activa el motor de la banda transportadora de salida de la criba, que se encarga de trasladar el material clasificado hacia la trituradora, asegurando así que la criba y la banda transportadora ligada a la misma operen cuando exista material, evitando el funcionamiento en vacío y reduciendo el desgaste mecánico de los equipos.

3.3.4 Automatización de la segunda etapa de clasificación y rechazo de material

El material triturado es conducido hacia una segunda criba vibratoria, la cual realiza una clasificación más fina del material, quedando entonces con tres motores asociados en esta etapa que operan de manera simultánea cuando se detecta ingreso de material. Los motores asociados son un motor de potencia mayor para el accionamiento de la criba, seguido de dos motores de bandas transportadoras, en la que una llevará el material principal correspondiente al producto final y la otra el material de rechazo que corresponde al material que no cumple las condiciones granulométricas necesarias. Lo que hace entonces el sistema es que, durante la vibración y clasificación del material, el producto útil y el material de rechazo sean transportados de manera paralela hacia sus respectivas zonas de acopio.

3.3.5 Seguridad y protección del sistema

Dentro del alcance del sistema de automatización se incluye la implementación de un paro de emergencia, el cual actúa de manera total sobre el sistema, y ante la activación de este todos los motores son detenidos de forma inmediata garantizando la seguridad del personal y

de los equipos. Adicionalmente, cada motor cuenta con una señal de protección térmica, proveniente de relés térmicos, en donde estas señales normalmente cerradas permiten detectar condiciones de sobrecarga o falla y que ante su activación el sistema genera alarmas visuales y audibles, incluyendo indicadores luminosos para cada motor y una sirena general de falla.

3.3.6 Supervisión y mantenimiento del sistema

El alcance del sistema también integra funciones orientadas a la supervisión y mantenimiento preventivo, mediante el registro o conteo de las horas de funcionamiento de cada motor, donde el sistema dispone de un menú interactivo que permite al operador visualizar el tiempo de operación acumulado de cada motor y realizar el reinicio selectivo de sus horas de funcionamiento. Esta funcionalidad se implementa mediante un sistema de selección de motor y un comando de reinicio que no afecta el registro de los demás equipos y que además contribuye a una gestión más eficiente del mantenimiento y una mejora exponencial de la vida útil de los equipos.

3.3.7 Delimitación del alcance de la automatización

Cabe destacar que el alcance del presente trabajo de titulación se limita al control del encendido y apagado de los motores, la coordinación lógica entre ellos, la gestión de seguridad, señalización y mantenimiento. En definitiva, comprende la gestión lógica, secuencial y segura del funcionamiento de los equipos eléctricos que intervienen en la planta industrial de agregados incorporando sensores, actuadores, alarmas y funciones de supervisión. No incluyendo dentro de este, aspectos como el control de velocidad mediante variadores de frecuencia, ni la implementación de sistemas avanzados de control de proceso.

3.4 Identificación de entradas y salidas del sistema

La correcta identificación de las entradas y salidas (E/S) del sistema constituye un paso clave dentro del diseño conceptual del sistema de automatización. A partir del análisis

productivo descrito en secciones anteriores se reconocen diversas señales que deben ser monitoreadas o actuadas para garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y flexible de la planta industrial de agregados. Estas señales comprenden no solo aquellas necesarias para el control secuencial del proceso, sino también las relacionadas con condiciones de seguridad, modos de operación, alarmas de falla y funciones de mantenimiento preventivo.

Entonces en términos generales, las entradas corresponden a dispositivos que informan el estado del sistema o del entorno, como sensores de nivel (alto y bajo), sensores de movimiento o presencia de material, pulsadores de arranque y parada, selector, contactos de relés térmicos (protecciones), y pulsador de emergencia. Por otro lado, las salidas son las señales que el sistema de control envía para activar o desactivar dispositivos del proceso, como los contactores de los nueve motores eléctricos, las sirenas de alarma y los indicadores luminosos de estado o falla.

Adicionalmente, el sistema incorpora entradas y salidas internas en el entorno de la programación, tales como flancos, temporizadores, contadores de horas, memorias de enclavamiento, entre otros elementos lógicos que, aunque no son conexiones físicas, resultan fundamentales para la estructura del programa y el comportamiento deseado. A continuación, se mostrará las respectivas tablas de entradas y salidas del sistema automatizado.

Tabla 1

Tabla de Entradas del Sistema Automatizado

Entradas	Nombres
I1	Modo manual/automático
I2	Start Manual Motor 1
I3	Stop Manual Motor 1
I4	Sensor Nivel Alto Tolva 1
I5	Sensor Nivel Bajo Tolva 1

I6	Stop de Emergencia
I7	Reset de Horas de Funcionamiento
I8	Selección de Motor para Reset de Horas de Funcionamiento
I9	Start Manual Motor 2
I10	Stop Manual Motor 2
I11	Sensor de Movimiento Criba
I12	Start Manual Criba
I13	Stop Manual Criba
I14	Sensor de Movimiento Trituradora
I15	Start Manual Trituradora
I16	Stop Manual Trituradora
I17	Sensor de Movimiento Criba 2
I18	Start Manual Criba 2
I19	Stop Manual Criba 2
I20	Start Manual Motor Rechazo
I21	Stop Manual Motor Rechazo
I22	Motor 1 Alarma Térmica
I23	Motor 2 Alarma Térmica
I24	Motor 3 Alarma Térmica
I25	Motor 4 Alarma Térmica
I26	Motor 5 Alarma Térmica
I27	Motor 6 Alarma Térmica
I28	Motor 7 Alarma Térmica
I29	Motor 8 Alarma Térmica
I30	Motor 9 Alarma Térmica

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Tabla de Salidas del Sistema Automatizado

Salidas	Nombres
Q1	Motor Banda 1
Q2	Indicador Stop de Emergencia

Q3	Motor 2 Tolva 1
Q4	Motor 3 Criba Vibradora
Q5	Motor 4 Criba Banda 3
Q6	Motor 5 Trituradora
Q7	Motor 6 Trituradora Banda 4
Q8	Motor 7 Criba 2
Q9	Motor 8 Criba 2 Material Final
Q10	Motor 9 Banda 6 Rechazo
Q11	Led Alarma Motor 1
Q12	Led Alarma Motor 2
Q13	Led Alarma Motor 3
Q14	Led Alarma Motor 4
Q15	Led Alarma Motor 5
Q16	Led Alarma Motor 6
Q17	Led Alarma Motor 7
Q18	Led Alarma Motor 8
Q19	Led Alarma Motor 9
Q20	Alarma y Sirena de Fallo

Nota. Elaboración Propia

La definición de las 30 entradas y 20 salidas dentro del sistema automatizado no es arbitraria, sino que responde directamente a los requerimientos funcionales identificados a lo largo del proceso productivo, al número total de equipos involucrados y al nivel de supervisión y seguridad que se busca implementar en el diseño de control.

3.5 Selección del sistema de control

La selección del sistema de control se realiza a partir del análisis del proceso productivo, del número de variables identificadas y de la cantidad de entradas y salidas requeridas para la automatización de la planta industrial de agregados. Como se estableció en el apartado anterior, el sistema requiere de la gestión de 30 señales de entrada y 20 señales de

salida, asociadas al control de motores, sensores de proceso, dispositivos de seguridad, señalización y funciones de mantenimiento.

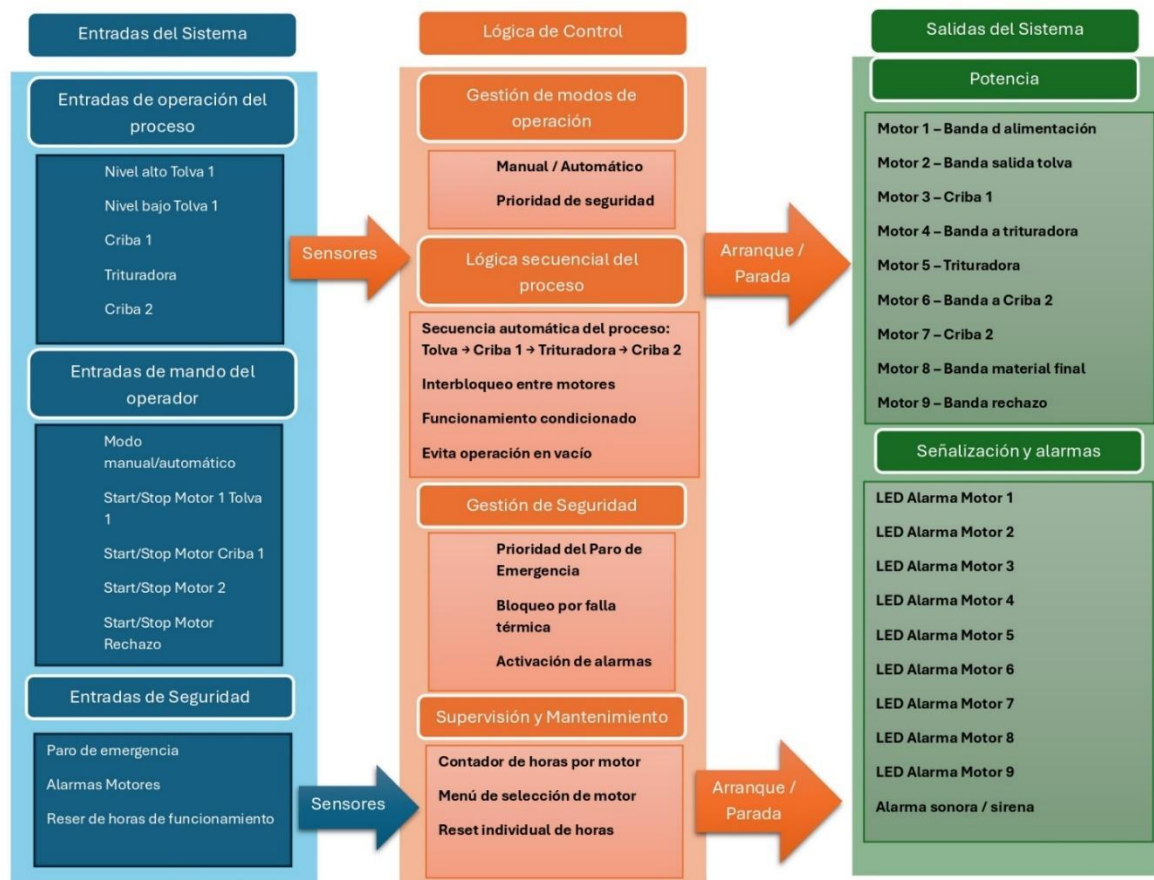
Debido a esta cantidad de señales y a la necesidad de una operación flexible y segura, se determina la conveniencia de emplear un sistema de control programable, capaz de ejecutar lógicas secuenciales, gestionar interbloqueos, integrar señales de seguridad y permitir la supervisión del proceso de forma centralizada. Este enfoque proporciona ventajas frente a sistemas de control convencionales, ya que permite modificar, ampliar o ajustar la lógica de funcionamiento sin realizar cambios físicos en el cableado o en la arquitectura general.

3.6 Diagrama funcional del sistema de control

El diagrama funcional del sistema de control representa de manera gráfica el flujo de información y de control entre las entradas del proceso, la lógica de control implementada en el sistema automatizado y las salidas que actúan sobre los equipos de la planta industrial de agregados. Como se observa en la Figura 6, el sistema de control se estructura en tres bloques principales que son las entradas del sistema, lógica de control y salidas del sistema, las cuales interactúan de forma secuencial y coordinada. En consecuencia, sirve como un vínculo conceptual entre el análisis del proceso productivo y la implementación del sistema de control, estableciendo las bases para el desarrollo del sistema mediante PLC LOGO, el cuál será abordado en el siguiente capítulo.

Figura 6

Diagrama funcional del sistema de control



Nota. Elaboración propia

CAPITULO IV

4 Desarrollo del Sistema de Control con PLC LOGO

Este capítulo presenta el desarrollo del sistema de control diseñado para automatizar el centro de control de motores (CCM) de una planta industrial de agregados. El desarrollo toma como punto de partida el análisis realizado en el capítulo anterior, que abordó el proceso productivo, el alcance de la automatización, la identificación de entradas y salidas y el diagrama funcional del sistema.

A lo largo del capítulo se describen aspectos esenciales como la arquitectura física y lógica del sistema, la distribución de entradas y salidas designadas por controlador, el desarrollo de la lógica de control y la descripción del uso del Web Server Integrado como herramienta de monitoreo que permite visualizar el estado operativo del sistema desde cualquier dispositivo conectado a la red. Cabe resaltar que no se presenta la programación completa como tal, ni el detalle de cada bloque lógico del programa, en su lugar, se incluye el detalle completo como material de apoyo en los anexos correspondientes.

4.1 Arquitectura del Sistema de Control

La arquitectura del sistema de control establece cómo se organiza, distribuye e interconecta cada uno de los controladores programables empleados en la automatización del centro de control de motores (CCM) de la planta de agregados. Esta estructura surge a partir de las necesidades funcionales del proceso, del número total de señales identificadas y de criterios técnicos como la escalabilidad, confiabilidad y la viabilidad económica del sistema.

Como quedó claro en el capítulo anterior, el sistema requiere gestionar un total de 30 señales de entrada y 20 de salida, correspondientes al control de motores eléctricos, sensores de nivel y movimiento, dispositivos de seguridad, alarmas visuales y sonoras, así como funciones de monitoreo y mantenimiento preventivo, por lo que, esta cantidad de señales supera

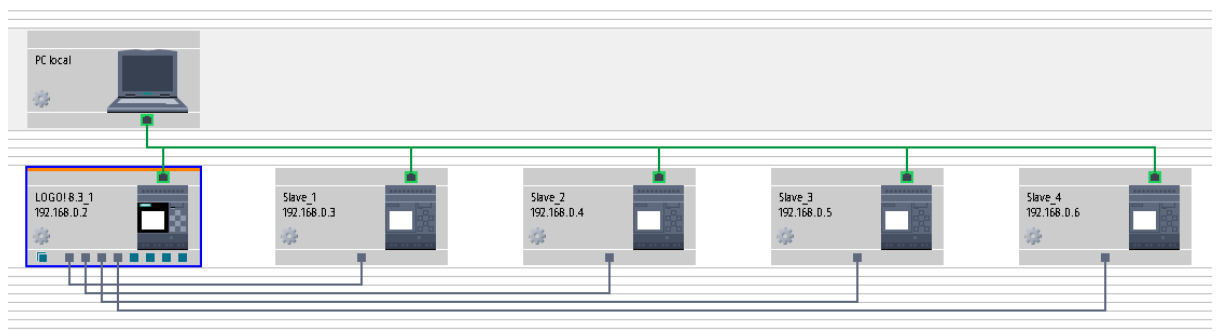
la capacidad de un solo PLC básico y se opta por una arquitectura de control distribuida. Esta arquitectura se basa en el uso de varios controladores LOGO de Siemens, conectados entre sí mediante una red de comunicación Ethernet, en el que cada uno cumple un rol específico dentro del sistema, lo que permite dividir el control por secciones del proceso o por zonas de la planta.

4.1.1 Descripción general de la arquitectura

El sistema de control está compuesto por cinco PLC's LOGO, organizados bajo un esquema maestro-esclavo y conectados a través de una red Ethernet, permitiendo así distribuir las señales del sistema entre varios controladores. La Figura 7 muestra como la arquitectura está compuesta por un PLC LOGO maestro, encargado de la coordinación general del sistema, seguido de cuatro PLC's LOGO esclavos que son utilizados para ampliar la capacidad de entradas y salidas, así como también para distribuir el control por funciones del proceso.

Figura 7

Arquitectura del sistema de control en el programa LOGO Soft Comfort



Nota. Elaboración propia obtenido del Software LOGO Soft Comfort de Siemens

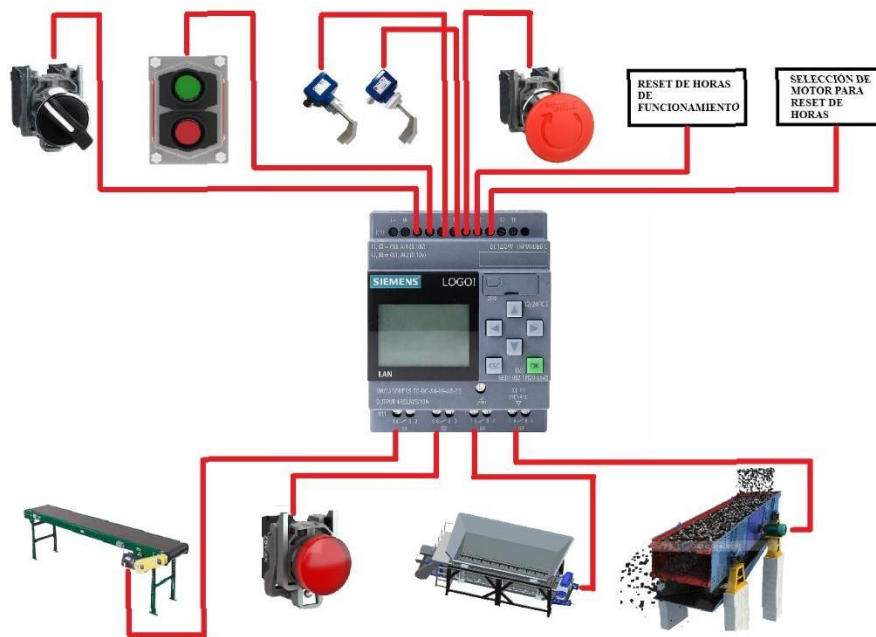
4.1.2 Distribución de entradas y salidas por controlador

El PLC LOGO maestro entre sus entradas se encuentran de acuerdo con la Figura 8, la selección del modo de funcionamiento (manual o automático), los pulsadores de arranque y parada del Motor 1, los sensores de nivel alto y bajo de la Tolva 1, el paro de emergencia, el reset de horas de funcionamiento y la selección del motor para dicha función. En cuanto a las salidas, controla directamente el motor de la Banda 1 (alimentación a tolva), el indicador visual

de paro de emergencia, así como el Motor 2 de la Tolva 1 y el Motor 3 correspondiente a la criba vibratoria.

Figura 8

Distribución de entradas y salidas PLC maestro



Nota. Elaboración propia

El PLC LOGO esclavo 1 recibe las señales relacionadas con la operación manual de los motores de la criba y la trituradora como se visualiza en la Figura 9. Sus entradas incluyen los comandos de arranque y parada manual para el Motor 2, Criba 1 y la Trituradora, además de sensores de movimiento que permiten verificar la actividad en la Criba 1 y la Trituradora. En cuanto a las salidas, este controlador acciona el Motor 4 de la banda que alimenta a la Criba 1, el Motor 5 de la Trituradora, el Motor 6 de la banda que transporta el material triturado y el Motor 7 correspondiente a la Criba 2.

Figura 9

Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 1

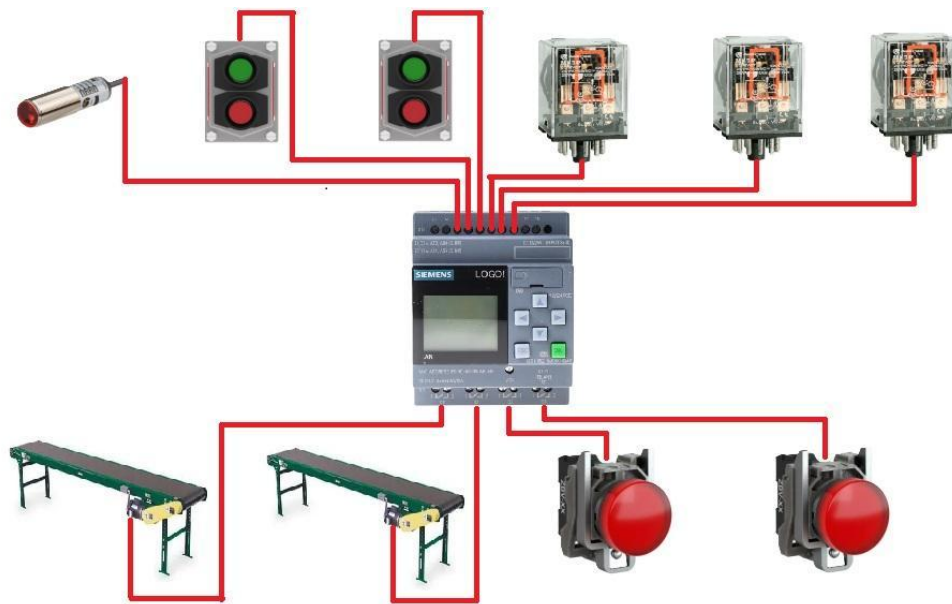


Nota. Elaboración propia

En el PLC LOGO esclavo 2 como indica la Figura 10 sus entradas incluyen el sensor de movimiento de la Criba 2, los pulsadores de control manual de dicha criba y del motor de rechazo, así como las alarmas térmicas de los motores 1, 2 y 3. Sus salidas activan el Motor 8 que opera la banda del material final, el Motor 9 encargado de la banda de rechazo y dos indicadores LED de alarma térmica correspondientes a los motores 1 y 2.

Figura 10

Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 2

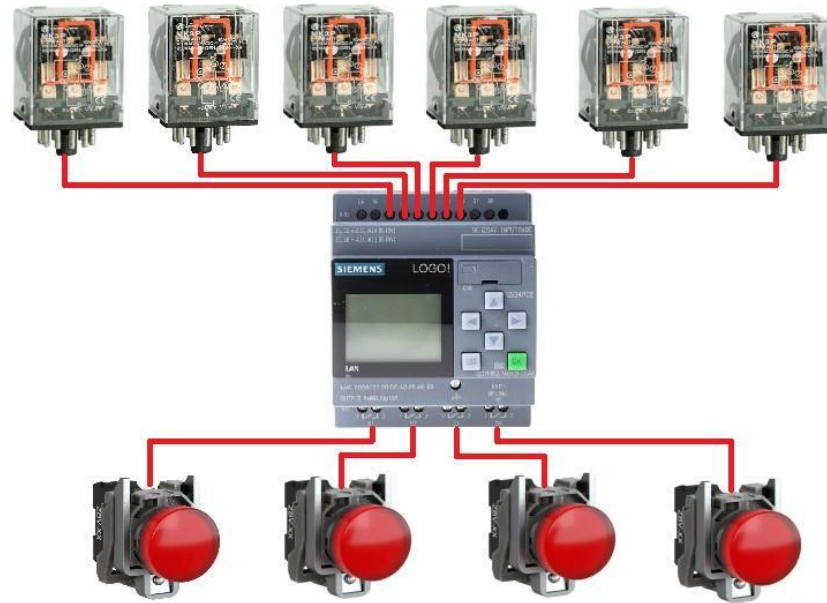


Nota. Elaboración propia

El PLC LOGO esclavo 3 tiene como función principal la gestión de las alarmas térmicas del resto de los motores, la Figura 11 muestra que recibe como entradas las señales de alarma de los motores 4, 5, 6, 7, 8 y 9. Sus salidas están destinadas al encendido de indicadores LED para los motores 3, 4, 5 y 6, permitiendo una señalización clara de fallos en cada sección del sistema.

Figura 11

Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 3



Nota. Elaboración propia

Finalmente, en la Figura 12 el PLC LOGO esclavo 4 está reservado para futuras expansiones del sistema, actualmente dispone de entradas libres destinadas a nuevas señales que puedan integrarse en procesos posteriores, En cuanto a sus salidas, gestiona los indicadores LED de alarma para los motores 7, 8 y 9, así como una salida destinada al accionamiento de una alarma general visual y sonora ante condiciones críticas o fallos globales en el sistema.

Figura 12

Distribución de entradas y salidas PLC esclavo 4



Nota. Elaboración propia

4.1.3 Funciones de los PLC's LOGO maestro y esclavos

El PLC LOGO maestro desempeña un rol central como núcleo operativo del sistema de control. Su principal responsabilidad es coordinar la lógica general del proceso productivo y asegurar que todas las etapas funcionen de forma secuencial, segura y eficiente. Adicionalmente administra un menú de mantenimiento desde el cual se gestionan los contadores de horas de funcionamiento de los motores, facilitando la planificación de actividades preventivas, como también permite el reinicio manual de dichos contadores cuando se hayan realizado tareas de servicio técnico.

Los PLC's LOGO esclavos desempeñan un papel complementario al del controlador maestro, permitiendo una distribución funcional y eficiente del control a lo largo del sistema, ya que cada uno de estos está asignado a una sección específica del proceso productivo. La principal función de estos es recibir las señales de comando emitidas por el PLC maestro a través de la red de comunicación Ethernet, procesar estas órdenes de acuerdo con su programación interna y activar o desactivar las salidas correspondientes, mismas que están vinculadas a motores, indicadores, contactores y otros dispositivos que forman parte del proceso.

Además de ejecutar comandos, los PLC's esclavos tienen la responsabilidad de monitorear señales de entrada locales, tales como sensores de nivel, presencia de material, fallas térmicas, pulsadores de mando y otros elementos de supervisión del sistema. La información obtenida de estas entradas es procesada localmente y transmitida de vuelta al PLC maestro, lo que permite mantener una visión centralizada del estado del sistema y garantizar una respuesta rápida ante cualquier evento operativo.

4.2 Desarrollo de la lógica de control del sistema

4.2.1 Enfoque de programación del sistema en LOGO Soft Comfort

La lógica del sistema de control fue desarrollada íntegramente en el entorno LOGO Soft Comfort, empleando un enfoque basado en bloques funcionales gráficos (lenguaje de programación FBD) facilitando así la interpretación y validación del comportamiento lógico del sistema, al mismo tiempo que permite un diseño claro y ordenado. El programa fue dividido en diversas redes funcionales, cada una dedicada a una función específica dentro del proceso automatizado. Durante el desarrollo, se implementaron los siguientes tipos de bloques y estrategias de programación:

- Bloques RS (Set/Reset) que se utilizan para mantener estados como el arranque de motores, la activación del modo automático o la presencia de alarmas activas.
- Compuertas lógicas AND y OR que se aplican para combinar diversas condiciones que deben cumplirse antes de activar un proceso o equipo, tales como señales de seguridad, habilitación o condiciones operativas.
- Marcas internas (M) que se emplean como señales auxiliares para reflejar estados intermedios del sistema.

- Bloques de flancos (positivos y negativos) que entran en operaciones como selección de opciones o reinicios, evitando repeticiones o activaciones múltiples por error.
- Contadores y temporizadores que se incorporan para llevar registro del tiempo de operación de los motores, así como para generar retardos en determinadas acciones cuando el proceso así lo requiere.
- Entradas y salidas de red que se necesitan para el intercambio de señales entre el PLC maestro y los esclavos a través de la red.

La programación adoptada se basa en una lógica donde ninguna salida se activa directamente a partir de una sola señal. Cada motor o componente necesita la verificación de múltiples criterios como activación del modo automático o manual, estado libre de fallas, condiciones de seguridad habilitadas y condiciones propias del proceso, ya que, esta estrategia se refleja en las redes del programa donde las salidas se encuentran al final de cadenas lógicas bien definidas.

4.2.2 Organización funcional del programa

El programa se estructura en cinco secciones o módulos principales que permiten organizar la lógica de forma clara y coherente con la arquitectura distribuida del sistema. Como primer módulo tenemos el de gestión de horas de funcionamiento y menú de reinicio, en donde este módulo se ubica en la parte inicial del programa y tiene como propósito llevar el registro individual del tiempo de operación de cada motor, para ello, se utilizan contadores independientes que se activan únicamente cuando el motor correspondiente está en funcionamiento y el sistema se encuentra habilitado.

Estas condiciones se combinan mediante compuertas lógicas AND, evitando el incremento accidental de horas cuando el equipo no está operativo. La selección del motor a

reiniciar se realiza con un contador ascendente controlado por el pulsador de selección que, a través de comparadores lógicos, el sistema logra identificar cuál motor fue elegido y habilita únicamente su contador de horas. El reinicio del contador se ejecuta de forma segura al cumplirse simultáneamente la condición de selección y la activación del pulsador de reset, lo que evita reinicios no deseados.

Siguiendo tenemos el módulo de gestión de modos de operación (manual / automático) que determina la lógica del sistema de acuerdo con el modo seleccionado. Un bloque RS (Set / Reset) conserva el último modo escogido permitiendo mantener el estado incluso si la señal de selección desaparece. Las redes correspondientes convergen mediante bloque OR, de manera que solo una lógica (manual o automática) actúe sobre un motor en cada momento, evitando conflictos de control.

Pasamos al módulo de control individual de motores en el que cada uno de los nueve motores cuenta con una red de control exclusiva que sigue una estructura lógica que considera cuatro criterios esenciales:

- El modo de operación actual (manual o automático)
- Las condiciones específicas del proceso como por ejemplo sensores de nivel o movimiento.
- La ausencia de fallos térmicos en el motor
- El estado del paro de emergencia

Las señales anteriores se combinan mediante bloques AND y bloques OR cuyo resultado activa un bloque RS (Set/Reset) que mantiene el motor en estado de marcha mientras todas las condiciones se conserven, entonces así la salida solo se activa cuando el enclavamiento es válido. Esto facilita la repetición del patrón de control para cada nuevo motor manteniendo coherencia y reduciendo errores de programación.

Continuamos con el módulo de seguridad y paro de emergencia, en donde, la lógica de este se implementa como una condición que afecta a todo el programa, la activación del paro de emergencia interrumpe inmediatamente todas las condiciones de habilitación, desactivando los bloques RS (Set/Reset) relacionados con los motores. Además, se activa una salida visual específica para señalar que el sistema se encuentra en estado de emergencia, permitiendo al operador identificar rápidamente esta condición crítica.

Finalmente llegamos al último módulo que es el de alarmas y señalización, en este módulo se gestionan las señales provenientes de las protecciones térmicas de los motores, cada alarma activa un LED correspondiente, indicando visualmente cual motor presenta una condición anómala. Para hacer más evidente la presencia de la falla, se incorpora un generador de pulsos que provoca el parpadeo de los LEDs afectados mientras dure la condición de alarma. A su vez, todas estas señales individuales convergen mediante bloques OR hacia una salida general que acciona una alarma y sirena como señal de fallo global.

4.3 Implementación del sistema de monitoreo mediante Web Server LOGO

4.3.1 Integración del Web Server en la arquitectura del sistema

La integración del servidor web en la arquitectura del sistema de control se realiza directamente en el PLC LOGO maestro, dado que este equipo cumple el rol central en la coordinación del proceso automatizado. Al habilitar el Web Server en el controlador principal, se concentra en un solo punto toda la información relevante del sistema, lo que permite simplificar el acceso y mejorar la eficiencia en la supervisión.

A través de las entradas y salidas de red, el PLC maestro recibe información del estado de los motores, alarmas y señales críticas provenientes de los PLC esclavos. Estas señales son utilizadas para alimentar las variables que se visualizan en las pantallas del Web Server,

asegurando que lo que se visualiza desde el navegador sea un reflejo fiel y actualizado del estado del sistema que permita al operador tener visibilidad en tiempo real sobre el proceso.

Para acceder al Web Server, se emplea un computador local conectado a la red de Ethernet del sistema, el operador simplemente debe introducir en su navegador la dirección IP previamente asignada al PLC maestro. Esta solución no demanda hardware adicional ni infraestructura compleja, ya que se apoya en la misma red de comunicación empleada para la lógica de control, garantizando así una implementación eficiente.

4.3.2 Objetivo del sistema de supervisión

En todo sistema automatizado, la supervisión en tiempo real cumple un papel crucial para garantizar su correcto funcionamiento, prevenir fallos y optimizar las tareas de mantenimiento, particularmente, en entornos industriales donde la continuidad operativa y la seguridad del personal son prioridades lo que hace que contar con una herramienta de monitoreo accesible y eficiente resulte indispensable.

En este contexto el uso del servidor Web integrado en el PLC LOGO se presenta como una solución viable y altamente funcional que se orienta principalmente en cumplir tres funciones clave:

- Visualizar el estado de los motores, indicando si cada motor se encuentra en funcionamiento o detenido.
- Supervisar las horas de funcionamiento de cada motor, permitiendo al operador conocer el tiempo acumulado de operación.
- Identificar y visualizar alarmas del sistema, tales como fallas térmicas individuales por motor y el estado del paro de emergencia, facilitando una detección rápida de condiciones anómalas.

Entonces el objetivo esencial del sistema de supervisión basado en el Web Server integrado del PLC LOGO es brindar una visualización clara y en tiempo real del estado operativo del sistema automatizado, con el fin de facilitar tanto la gestión diaria como las tareas de diagnóstico y mantenimiento en el centro de control de motores.

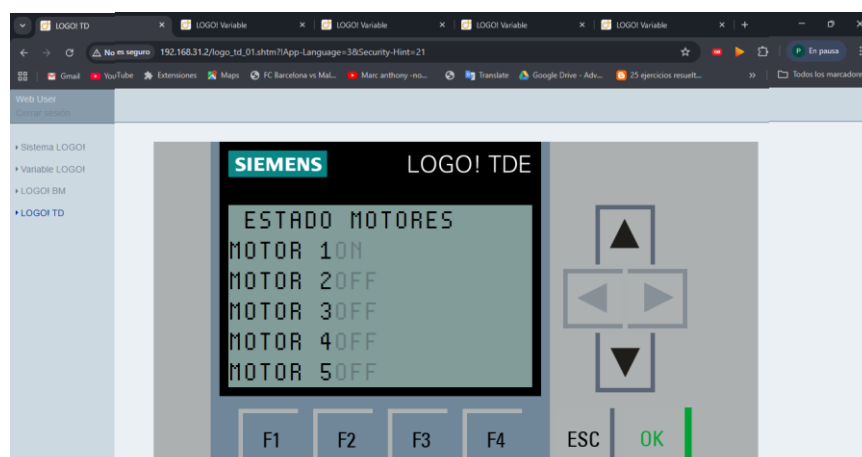
4.3.3 Diseño de las pantallas de supervisión

El diseño de las pantallas de supervisión que se visualizan a través del Web Server integrado del PLC LOGO se basa directamente en la estructura lógica del programa, estas pantallas se alimentan de las mismas variables, marcas internas y condiciones lógicas ya definidas dentro del mismo, lo que garantiza una visualización fiel al estado real del sistema.

Como consecuencia tenemos la visualización del estado de los motores en las Figuras 13 y 14, en donde cada motor del sistema posee una marca lógica asociada a su estado de funcionamiento, estas marcas se generan mediante bloques de enclavamiento tipo (Set/Reset) y reflejan de manera precisa si el motor se encuentra activo o detenido. Las pantallas del Web Server toman directamente estas marcas como variables de visualización significando así que el operador pueda ver si un motor está en marcha sin importar si fue activado manualmente o de forma automática.

Figura 13

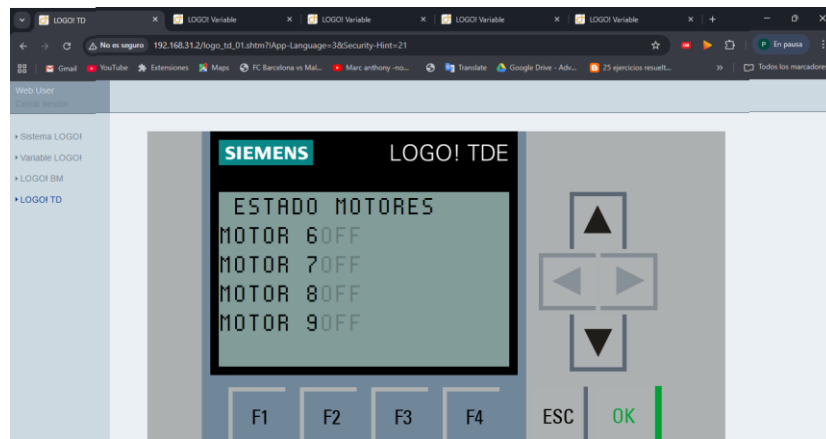
Pantalla de supervisión del estado de motores (1-5) desde Web Server



Nota. Captura de pantalla correspondiente a la visualización del estado de motores, accesible desde el Web Server. Elaboración propia

Figura 14

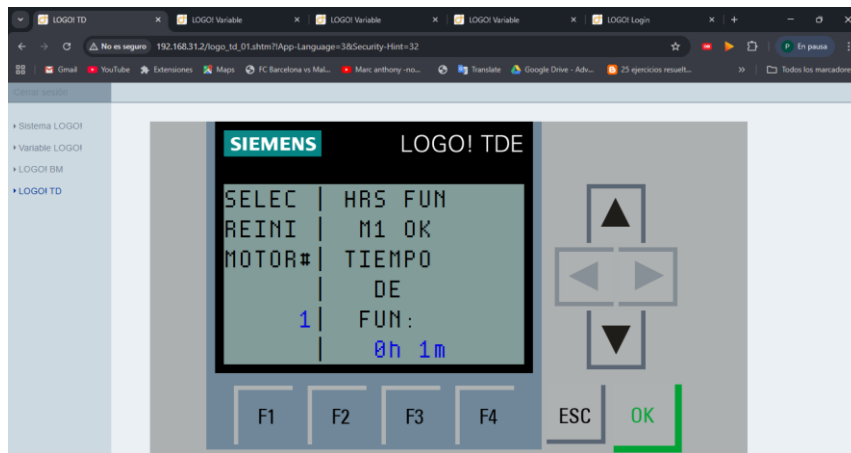
Pantalla de supervisión del estado de motores (6-9) desde el LOGO Web Server



Luego en la Figura 15 tenemos la visualización de horas de funcionamiento a partir de contadores internos, donde el monitoreo del tiempo acumulado de operación de cada motor también se ha integrado en las pantallas de supervisión. Los contadores sólo se incrementan mientras la marca de funcionamiento del motor esté activa, estos valores se visualizan en el Web Server como cifras numéricas permitiendo al operador saber cuántas horas ha trabajado cada equipo, resultando clave para establecer rutinas de mantenimiento preventivo basado en datos reales.

Figura 15

Pantalla de monitoreo del tiempo de operación del motor en LOGO Web Server

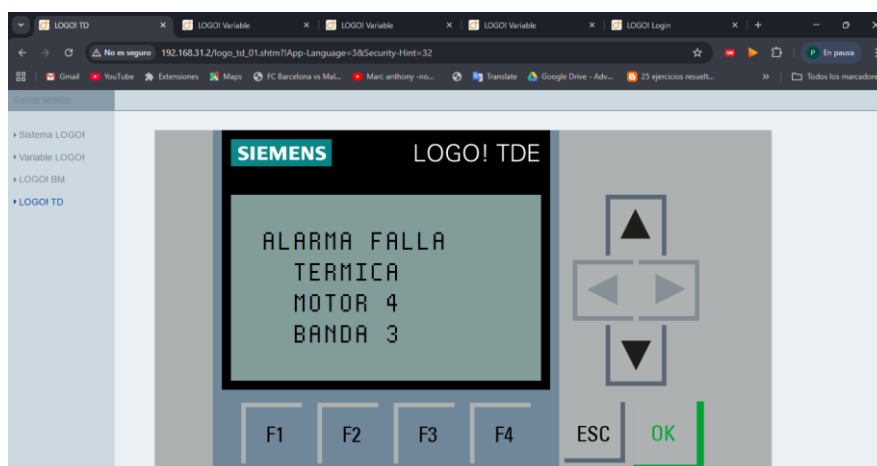


Nota. Captura de pantalla correspondiente a la visualización del tiempo de funcionamiento del motor, accesible desde el Web Server. Elaboración propia

Por último, en las Figuras 16 y 17 encontramos la visualización de alarmas en donde las condiciones de alarma, como fallas térmicas o activaciones del paro de emergencia están enlazadas a la lógica del programa. Cuando se presenta una falla, el sistema genera una señal lógica específica que, además de actuar sobre el control del motor y la señalización, también activa el indicador correspondiente en la pantalla del Web Server, visualizándose cada alarma de forma independiente, y si se producen varias al mismo tiempo, todas se muestran con claridad siguiendo la lógica OR aplicada en el diseño del programa.

Figura 16

Pantalla de notificación de falla térmica del motor en LOGO Web Server



Nota. Captura de pantalla correspondiente a la visualización de una alarma por falla térmica en el motor 4 asociado a la Banda 3, supervisado desde el Web Server. Elaboración propia

Figura 17

Pantalla de notificación de cierre incompleto de tolva en LOGO Web Server



Nota. Captura de pantalla correspondiente a la visualización de una alarma por cierre incompleto de tolva, supervisado desde el Web Server. Elaboración propia

Con esto en conjunto podemos decir que el sistema de supervisión implementado cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados en el presente proyecto de tesis, al proporcionar una herramienta eficaz, intuitiva y accesible para el monitoreo en tiempo real del centro de control de motores. Su integración directa con la lógica desarrollada en los PLC's LOGO y su funcionamiento sobre la infraestructura Ethernet existente garantizan una supervisión coherente con el comportamiento real del sistema, sin necesidad de plataformas SCADA externas ni inversiones adicionales al hardware.

CAPITULO V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

A partir del diseño y el desarrollo del sistema automatizado para el centro de control de motores de una planta industrial de agregados, se obtienen las siguientes conclusiones del trabajo realizado:

- La implementación de un sistema de control centralizado mediante PLC's LOGO, con arquitectura maestro-esclavos permitió sustituir el accionamiento manual de motores mediante pulsadores individuales por un control automatizado desde un único sistema lógico, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo la posibilidad de errores humanos.
- La lógica de control basada en condiciones específicas como sensores de nivel y movimiento concedió una operación más inteligente del sistema, eliminando arranques innecesarios y evitando el funcionamiento en vacío de los motores.
- La automatización del sistema redujo la necesidad de supervisión simultánea por parte de varios operadores, ya que ahora un solo operador puede gestionar el funcionamiento completo de la planta mediante la lógica secuencial programada y la supervisión remota integrada.
- El registro automático de horas de funcionamiento por cada motor incluido en la lógica del programa representa un avance frente a los métodos manuales, ya que esta información permite planificar mantenimientos con base a datos reales de operación.
- La utilización del Web Server integrado como herramienta de supervisión posibilitó centralizar la visualización del estado de los motores, las horas de operación y las

alarmas, facilitando el acceso a información desde cualquier equipo conectado a la red local.

5.2 Recomendaciones

Con base al sistema diseñado y considerando su posible implementación real en planta, se plantean las siguientes recomendaciones:

- En caso de incorporar sensores que generen señales de alta frecuencia, se recomienda verificar que las entradas rápidas del PLC LOGO sean aptas para capturar y procesar estos pulsos sin pérdida de datos, y de ser necesario puede considerarse el uso de módulos adicionales o PLC's con mejores capacidades de conteo.
- Si se proyecta ampliar la supervisión mediante el Web Server para incluir más pantallas o permitir el acceso desde varios dispositivos simultáneamente, es recomendable la incorporación de un switch de red industrial que permita interconectarlos dentro de la misma red local, garantizando una comunicación Ethernet estable sin afectar el funcionamiento del sistema de control.

CAPITULO VI

6 Bibliografía

- (UEPG), E. A. (2021). Annual Report 2020–2021 A sustainable industry for a sustainable Europe. *UEPG President Thilo Juchem*, 3-4.
- AISe. (5 de diciembre de 2023). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=fD221LZ5BEQ>
- ASTM International. (2018). Standard Specification for. *Designation: C33/C33M – 18*, 1.
- Automation Electric & Controls. (22 de Abril de 2023). *Automation Electric*. Obtenido de Automation Electric: <https://automationelectric.com/automated-control-systems-are-essential-components-of-the-aggregate-industry/>
- Calderón Godoy, A., & González Pérez, I. (2018). Integration of Sensor and Actuator Networks and the SCADA System to Promote the Migration of the Legacy Flexible Manufacturing System towards the Industry 4.0 Concept. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2.
- Calero, V. (agosto de 2022). *Aydep*. Obtenido de Aydep: <https://www.aydep.com/blog/2023/08/22/automatizacion-industrial-y-sistemas-de-control-y-monitoreo-remoto/#:~:text=El%20monitoreo%20y%20control%20remoto%20permiten%20automatizar%20diversas%20tareas%20y,condiciones%20predefinidas%20o%20eventos%20espec%C3%AD>
- Contact, P. (2022). Infraestructura de automatización y sus consideraciones para elegir arquitectura de red. *Revista Ingeniería Eléctrica*, 6.
- Eaton. (Marzo de 2023). *Low-voltage power distribution and control systems > Motor control centers >*. Cleveland: DG043001EN. Obtenido de Eaton.
- George Brown College. (17 de Mayo de 2023). *PLC Technician Training* . Obtenido de PLC Technician Training : <https://www.plctechnician.com/news-blog/overview-allen-bradley-family-plcs>
- Groover, M. (2016). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pensilvania: Pearson.
- GSL Industrias. (31 de Julio de 2021). *Industrias GSL*. Obtenido de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/arquitectura-del-plc>
- Guldner, J. (20 de Abril de 2020). *Energy Mangement Corporation*. Obtenido de Energy Mangement Corporation: <https://goemc.com/2020/04/20/case-study-geneva-rock->

products-using-energy-management-corporation-to-transform-mining-site-efficiency/?

Hbriones. (s.f). *Hbriones Sistemas Eléctricos*. Obtenido de <https://hbse.cl/producto/ccm/>

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, 10.

IBM. (9 de enero de 2025). *IBM*. Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/docs/es/order-management?topic=organization-defining-communication-protocols>

Industria, T. p. (23 de Agosto de 2023). *Tecnología para la Industria*. Obtenido de https://tecnologiaparalaindustria.com/explorando-los-centros-de-control-de-motores-electricos-tipos-aplicaciones-y-ejemplos/?utm_source=chatgpt.com

Industries, S. (2023). *Crushing & Screening Equipment Handbook*. Minneapolis: Superior.

M.Moreno. (2002). Controlador Lógico Programable. *Automación Micromecánica s.a.i.c*, 41-84.

Murshalin, Y., Halder, A., Sharif, U., Shajib, & Mir Afzal, H. (2024). Efficient Control and Automation: Exploring Siemens LOGO PLC and PLC-Based Industrial Timer Controllers. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 1-10.

Onnela, T., & Svein Danielsen, W. (2019). *Mobile processing and use of short-transported*. Trondheim: SINTEF.

Opensoft Systems. (1 de Julio de 2021). *Opensoft Systems Limited*. Obtenido de Opensoft Systems Limited: <https://opensoftsystems.co.uk/client/case-study/case-study-quarry-application/>

Process Solutions, Inc. (28 de Febrero de 2020). *Process Solutions Control System Design and Manufacturing*. Obtenido de Process Solutions Control System Design and Manufacturing: <https://processsolutions.com/basic-architecture-of-programmable-logic-controller/>

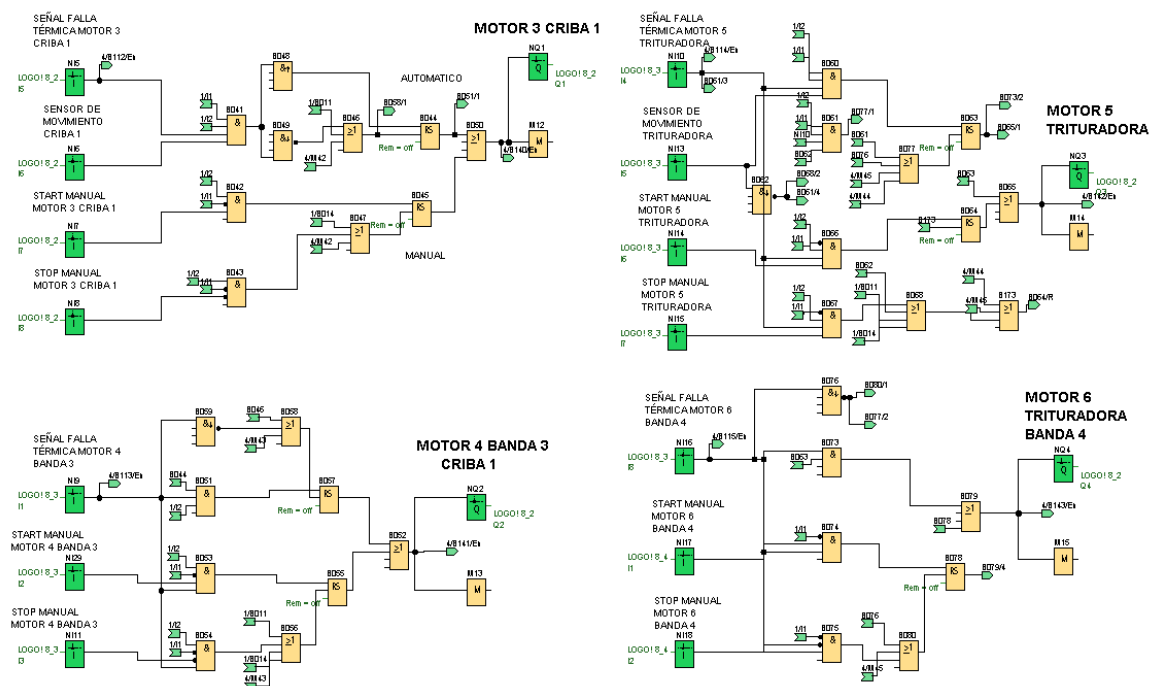
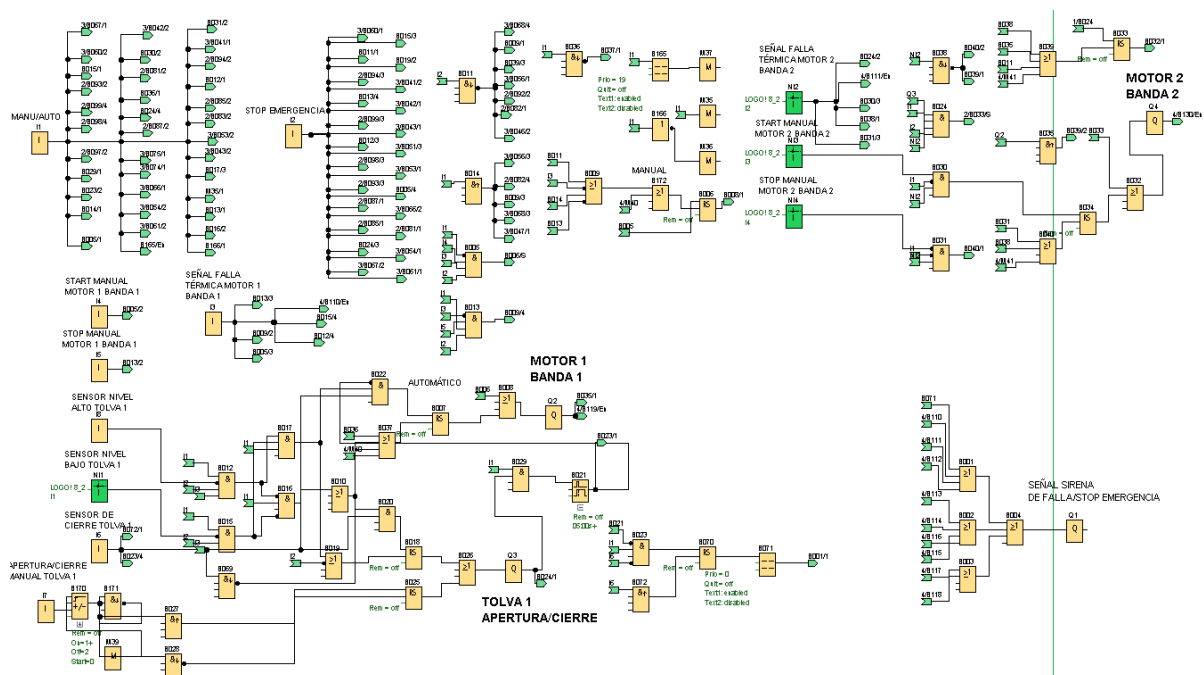
Quinte Quinte, J. (2018). *MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES A TRAVÉS DEL SERVIDOR WEB DEL CONTROLADOR LOGO V8*. Quito: Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva.

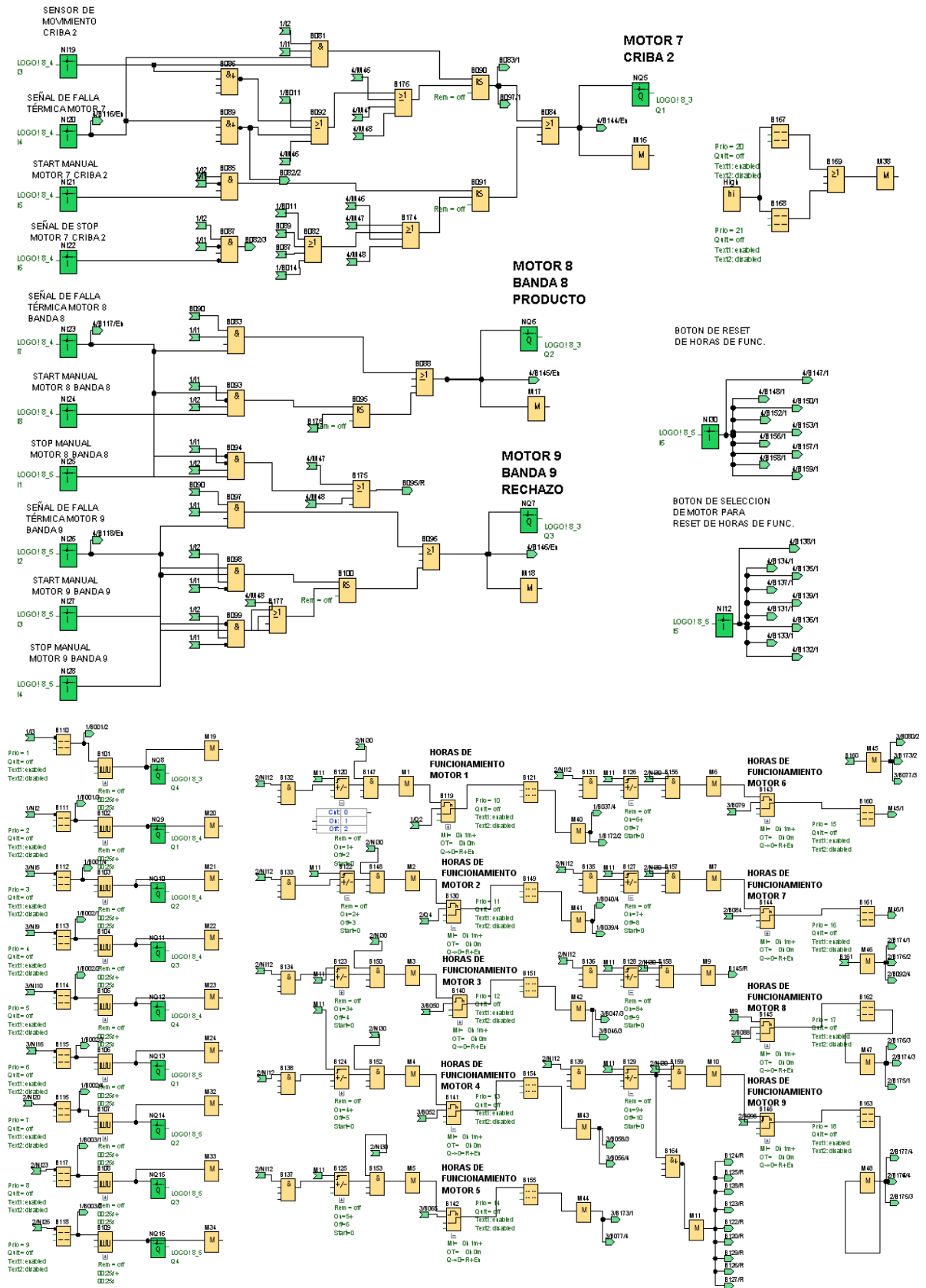
Rockwell Automation. (Marzo de 2021). Centros de control de motores de bajo voltaje y conjuntos de aparata de conexión CENTERLINE 2500. *Allen-Bradley*, 5-76.

Rockwell Automation. (7 de Noviembre de 2022). *Automática e Instrumentación*. Obtenido de <https://www.automaticeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/4062080/cuatro-elementos-diseno-principales-centro-control-motores-seguro?>

- Rockwell Automation. (2023). *Motor Control Centers: Selection Guide (2100-SG003-EN-P)*. Milwaukee: Rockwell Automation, Inc.
- Sanchez, S. (2021). Estrategias de simulación para la ingeniería de un proyecto de automatización. *AADECA Revista*, 2.
- Seraz, A., & Vipin Kumar, S. (2025). Industrial Automation through PLC and SCADA. *Ijrasnet International Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2-9.
- Siemens. (22 de junio de 2015). *SiePortal*. Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/108994400/%C2%BFc%C3%B3mo-se-activa-y-se-llama-al-servidor-web-del-logo!-8-?dti=0&lc=es-EC>
- Siemens. (2020). *Siemens*.
- SIEMENS. (9 de Agosto de 2021). *Automation24. Inc*. Obtenido de https://media.automation24.com/datasheet/es/6ED10521MD080BA1_es.pdf
- SIEMENS. (2021). *LOGO! CIM Operating Manual*. Múnich: Siemens Industry.
- SIEMENS. (2022). *Manual de sistema*. Alemania: Digital Industries.
- SIEMENS. (1 de Enero de 2022). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:72518507-8f25-4c26-8c8b-02770504cb6a/PICS-00151-0122-Oshawa-Bearing.pdf>
- Spada, S. (6 de Enero de 2018). *ARC Advisory Group*. Obtenido de ARC Advisory Group: <https://www.arcweb.com/blog/motor-control-centers-defined>
- Tidrea, A., Korodi, A., & Silea, I. (2023). Elliptic Curve Cryptography Considerations for Securing. *Sensors*, 1-2.
- WEG. (2018). Centros de Control de Motores de Baja tensión. *Motores | Automatización | Energía | Transmisión & Distribución*, 18-28.
- Zhipeng, L., Xuejiao, L., & Jiwei, M. (2020). Application of PLC technology in electrical automatic control. *Journal of Physics: Conference Series*, 2-5.

ANEXOS





[illegible][illegible][illegible]

[illegible]

Texto de aviso

°C AI ON/OFF Símbolo 00:00 Editar manualmente

A	L	A	R	M	A	F	A	L	L	A										
T	E	R	M	I	C	A														
M	O	T	O	R	2															
T	O	L	V	A	1															

Sobrescribir

[illegible]

