



**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
ARQUITECTURA
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de ingeniero
eléctrico.**

Título:

Sistema de gestión y control de almacenamiento de granos mediante la
integración de PLC's y comunicación inalámbrica GPRS.

Autor:

Chávez Arias Walter Imanol
Barberán Triviño Angel Rafael

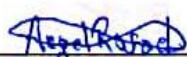
Tutor:

Ing. Milton Moreano Alvarado, M.Sc.
Manta - Ecuador.

AUTORIA DEL PROYECTO TECNICO

Quien suscribe Chávez Arias Walter Imanol y Barberan Triviño Angel Rafael con cedula de identidad Nro.1311581258 y Nro.1315679322, egresados de la Facultad de Ingeniería, industria y Arquitectura en la carrera de Electricidad - declaro que nuestro proyecto de titulación “Sistema de gestión y control de almacenamiento de granos mediante la integración de PLC’s y comunicación inalámbrica GPRS”. 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 las Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.


Chávez Arias Walter Imanol


Barberan Triviño Angel Rafael


ASESOR ACADEMICO

Ing. Milton Moreano Alvarado, Msc

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 Ángel Rafael Barberán Triviño y Walter Imanol Chávez Arias, legalmente matriculados en la carrera de electricidad, período académico 2026, cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto "Sistema de gestión y control de almacenamiento de granos mediante la integración de PLC's y comunicación inalámbrica GPRS"

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, 17 de julio de 2026.

Lo certifico,

MILTON
ENRIQUE
MOREANO
ALVARADO

Firmado digitalmente
por MILTON ENRIQUE
MOREANO ALVARADO
Fecha: 2026.07.18
09:45:18 -05'00'

Ing. Milton Moreano Alvarado, M.Sc.
Docente Tutor(a)
Área: Automatización Industrial

DEDICATORIA

A mi familia, y a mi gata Xayah por ser mi soporte incondicional y el cimiento de cada paso que doy.

A mí mismo. Por todas las veces que la ingeniería se volvió cuesta arriba y elegí no rendirme. Por no haberme defraudado cuando el camino era incierto, y por el compromiso inquebrantable con los objetivos que anhelo lograr y el futuro que estoy decidido a construir.

Chávez Arias Walter

Dedico esta investigación, en primer lugar, a Dios, por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida, el protector de mis pasos y darme la oportunidad de alcanzar una de las metas más importantes de mi formación profesional.

A mis padres Héctor Barberan y Mariuxi Triviño, por su sacrificio, esfuerzo y apoyo constante que me permitió llegar hasta aquí.

A mi hermana Angelica Barberan por ser el ejemplo de perseverancia que ha inspirado cada uno de mis logros, como también a mi sobrino Angel David que es quien llegó a mi vida para darle un nuevo significado a todo.

A la memoria de mi abuelo Angel Viterbo que desde niño forjó mi disciplina en los estudios.

A todos los que creyeron en mí y me apoyaron comparto con ustedes este logro.

Barberan Triviño Angel

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor, no solo por su invaluable apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de grado, sino también por todo el conocimiento y la educación que me brindó en las materias que me impartió.

De la misma manera, extendiendo mi gratitud a los ingenieros que durante mi paso por la carrera me demostraron una verdadera maestría, pasión y vocación por enseñar. Gracias por hacer que la complejidad de la ingeniería fuera más accesible y llevadera. Un agradecimiento especial a aquellos que despertaron mi interés por las energías renovables, los sistemas de potencia y la automatización.

A mis padres, les agradezco profundamente por brindarme un hogar y por todo el respaldo económico y material que me dio las posibilidades para alcanzar esta meta. A mi hermana y a mis amigos más cercanos, gracias por su lealtad constante, valoro enormemente que siempre estuvieran ahí para escucharme, aconsejarme o simplemente hacerme reír y desconectar cuando los problemas se volvían pesados, haciendo que todo fuera mucho más llevadero.

Finalmente, quiero dar las gracias a la música por ser mi escape y mi mayor motivación. A todas las bandas y artistas que me han acompañado a lo largo de mi vida, y de forma muy especial, al legado de Chester Bennington, su música y su mensaje ha sido durante años un refugio invaluable que me brindó la catarsis y la alegría necesarias para nunca rendirme

Chávez Arias Walter

Primero, agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para superar cada uno de los desafíos presentados durante mi formación profesional y hacer posible la culminación de esta tesis.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres Héctor Barberan y Mariuxi Triviño quienes con su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante fueron el pilar fundamental para alcanzar esta meta. A mi hermana Angelica Barberan que siempre ha estado presente para apoyarnos mutuamente ante los problemas.

Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis el Ing. Milton Moreano, por su orientación, paciencia, conocimientos y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de esta investigación.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a los docentes de la carrera, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación profesional, contribuyendo significativamente a mi crecimiento académico y personal.

A la familia Baque Alcivar que me brindaron la estadía y apoyo en mi tiempo de estudio profesional.

A mi compañero de tesis Chávez Arias Walter que gracias a su trabajo constante y dedicación pudimos culminar esta investigación conjuntamente.

Finalmente, agradezco a todos los familiares y amigos que me apoyaron durante este trayecto, que creyeron en mí y ahora forman parte de este logro.

A todos ellos, mi más profundo agradecimiento.

Barberan Triviño Angel

RESUMEN

El almacenamiento de los granos constituye un proceso crítico dentro de la cadena agroindustrial, debido a que variables como la temperatura, la humedad y la concentración de dióxido de carbono (CO_2) pueden provocar el deterioro de la materia prima, disminuir su calidad y generar grandes pérdidas económicas cuando no existe un monitoreo continuo en tiempo real. En muchas instalaciones este proceso aún se realiza de manera manual, el cual presenta limitaciones relacionadas con tiempos de respuesta, disponibilidad de personal y precisión en la detección de condiciones críticas.

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema automatizado de gestión y control para silos de almacenamiento de granos mediante la integración de controladores lógicos programables (PLC Siemens LOGO!), sensores industriales de temperatura, humedad y CO_2 , pantallas de visualización TDE y un módulo de comunicación inalámbrica Siemens CMR2020 basado en tecnología GPRS, permitiendo la supervisión y el monitoreo remoto de las variables críticas del proceso mediante mensajes SMS.

Nuestra metodología aplicada fue del tipo investigación práctica, con un enfoque explicativo y de diseño profesional. Se fomentó la lógica del control utilizando el software LOGO! Soft Comfort, indicando los escenarios automáticos para el funcionamiento de ventiladores y extractores de aire en función de los parámetros registrados por los sensores a utilizar. De igual forma, configuramos el módulo CMR2020 para el envío automático de estados de alerta y la consulta vía SMS de variables analógicas mediante comandos SMS específicos, implementando una arquitectura de comunicación industrial basada en Ethernet entre los diferentes módulos del sistema.

Los desenlaces obtenidos evidenciaron que la solución propuesta nos permite monitorear en tiempo real las variables internas y externas de temperatura, humedad y concentración de CO_2 , tener el control automático del funcionamiento de los equipos de ventilación, disminuir la intervención manual del técnico de esa área y mejorar los niveles de respuesta ante escenarios que puedan afectar el estado del grano.

Se finalizó que el sistema diseñado representa una opción técnica y económicamente viable para la automatización del almacenamiento de granos, mejorando la eficiencia operativa y disminuyendo las pérdidas postcosecha.

Índice general del contenido

1	CAPITULO I: INTRODUCCION	14
1.1	Antecedentes	14
1.2	Justificación.....	15
1.3	Propuesta.....	15
1.4	Objetivo general	16
1.4.1	Objetivos específicos	16
	CAPITULO II: MARCO TEORICO	17
2	Marco teórico.....	17
2.1	Panorama internacional de la producción y almacenamiento de granos	17
2.2	Automatización industrial.....	18
2.2.1	Sistemas de control	19
2.2.2	Controladores lógicos programables (PLC)	20
2.2.3	Entradas y salidas digitales y analógicas	21
2.2.4	Programación de PLC según la IEC 61131-3	22
2.2.5	Ventajas del uso de PLC en la industria.....	23
2.3	LOGO Soft Comfort	24
2.3.1	¿Qué puede hacer Logo?.....	25
2.4	Sensores y actuadores	26
2.4.1	Sensores de temperatura	26
2.4.2	Sensores de humedad	27
2.4.3	Sensores de nivel.....	27
2.5	Modulo CMR2020 de Siemens	27
2.5.1	Definición de GPRS	28
2.5.2	Funcionamiento del GPRS	29
2.5.3	Arquitectura de red GPRS.....	30
2.6	Automatización de procesos agrícolas: caso almacenamiento de granos	31
2.6.1	Aplicación de sistemas de control en silos	31
2.6.2	Gestión de almacenamiento	32
2.6.3	Monitoreo de variables críticas.....	32
2.7	Principios Termodinámicos del Almacenamiento	33
2.8	Límites Críticos de Humedad por Tipo de Grano.....	33
2.8.1	Maíz (Grano Amiláceo)	34
2.8.2	Arroz (Paddy / Con Cáscara)	34
2.8.3	Trigo.....	35

CAPITULO III DISEÑO DEL PROYECTO, MATERIALES Y METODOS.....	36
3 Metodología	36
3.1 Tipo de investigación	36
3.2 Tipo de estudio	36
3.3 Descripción general del proceso a automatizar	36
3.4 Lógica de funcionamiento automatizada	38
3.5 Programación en PLC con Logosoft	42
3.6 Arquitectura de red de módulos LOGO!	44
3.7 Arquitectura de implementación real en sistema de silos	45
3.7.1 Sistema de Termometría (Sensores de Temperatura)	45
3.7.2 Sensores de Humedad Relativa (Ambiental y de Cúpula)	46
3.7.3 Sensores de Dióxido de Carbono (CO ₂) para Detección Temprana	48
3.7.4 Arquitectura de Actuadores y Flujo de Aire (Inyectores y Extractores)	49
3.8 Configuración del módulo de comunicación CMR2020	50
3.8.1 ¿Cómo ingresar al CMR2020?	50
3.8.2 Página de inicio general por default.....	51
3.8.3 Página de LAN – configuración.....	52
3.8.4 Página de WAN – configuración inalámbrica móvil.	52
3.8.5 Página de usuarios / grupos – usuarios.....	53
3.8.6 Página de usuarios / grupos – grupos recientes	54
3.8.7 Página de inicio con nuestra red configurada	55
3.8.8 Página de monitoreo – Mensajes de texto	56
3.8.9 Página de monitoreo – Definición de señales	56
3.8.10 Página de monitoreo – eventos	57
3.8.11 Página de monitoreo – acciones	58
3.8.12 Página de monitoreo – asignaciones	59
3.9 Enlace entre el logo V8.4 y el CMR2020.	60
CAPITULO IV	61
4 Presentación, procesamiento y análisis de los resultados.....	61
4.1 Resultados de la configuración en el CMR2020	61
4.2 Comandos a utilizar	62
4.3 Plan de SMS	62
4.4 Resultados del sistema automatizado	63
4.5 Presupuesto	66
4.6 Análisis financiero del tiempo de retorno a la inversión	68
4.7 Discusión de los resultados.....	70

CAPITULO V	72
5 Conclusiones.....	72
5.1 Recomendaciones.....	73
6 Cronograma de actividades: primera fase	74
6.1 Cronograma de actividades: segunda fase	75
7 Referencias.....	76
Anexos.....	78

Índice de ilustración

Figura 1. Los 20 países con mayor agricultura global en el mundo	18
Figura 2. La estructura de LOGO!	21
Figura 3. Lenguajes de programación IEC 61131-3	23
Figura 4. Software LOGO Soft Comfort	25
Figura 5. Vista frontal de modulo CMR2020	28
Figura 6. Comunicación de telefonía móvil con LOGO! BM	29
Figura 7. Diagrama de la arquitectura física del silo de almacenamiento.	38
Figura 8. Diagrama de flujo y Secuencia Operativa	41
Figura 9. Arquitectura de red en Logosoft.....	42
Figura 10. Señales analógicas externas.....	42
Figura 11. Señales analógicas internas	43
Figura 12. Programa general.....	44
Figura 13. Arquitectura de red de módulos LOGO!	45
Figura 14. Sensor de temperatura y humedad interna usado en silos	46
Figura 15. Sensor de temperatura y humedad interna usado en silos	48
Figura 16. Sensor de CO2 usado en silos	49
Figura 17. Descripción y ubicación de sensores en el sistema	50
Figura 18. Login CMR2020.....	51
Figura 19. Inicio por default	51
Figura 20. Configuración LAN.....	52
Figura 21. Configuración inalámbrica móvil.....	53
Figura 22. Usuarios.....	54
Figura 23. Grupos recientes	55
Figura 24. Interfaz principal configurada	55
Figura 25. Mensajes de texto a enviarse	56
Figura 26. Definición de señales.....	57
27. Eventos a realizar	58
Figura 28. Acciones a realizar	59
Figura 29. Asignaciones de eventos	60
Figura 30. Enlace entre Logo y el CMR2020	60
Figura 31. TDE editable estados de entradas y salidas.....	63
Figura 32. Estado alerta	63

Figura 33. Niveles de CO2 emergencia	64
Figura 34. TDE #2 Temperatura y Humedad interna	64
Figura 35. TDE #3 Temperatura y Humedad externa	65
Figura 36. SMS recibidos	65
Figura 37. SMS recibidos valores analógicos.....	66

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y limitaciones del GPRS	30
Tabla 2. Resumen de entradas y salidas del sistema de control del silo.....	39
Tabla 3. Resultado configuración CMR2020	61
Tabla 4. Comandos SMS para ejecutar funciones de lectura	62
Tabla 5. Planes mensuales de SMS	62
Tabla 6. Presupuesto	67
Tabla 7. Costo del sistema manual	69
Tabla 8. Costo del sistema automatizado.....	69
Tabla 9. Resultado ROI	69

1 CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

De acuerdo con la información de la FAO, en Ecuador se pierde aproximadamente un 20% de granos de maíz en su etapa postcosecha (Nath et al., 2024) y, en Latinoamérica se tienen datos de pérdidas en la manipulación y almacenamiento en la postcosecha aproximadamente del 4% en cereales (Jenny et al., 2012), además, se menciona que la ineficiencia de la gestión del almacén ocasiona grandes pérdidas empresariales, por lo cual una meta a corto o mediano plazo es el mejoramiento de la gestión del almacenamiento, y así reducir pérdidas en ventas. (Báez et al., 2020).

En cuanto a proyectos y trabajos de titulación que ya han hecho uso de la tecnología de comunicación GPRS para monitorear y controlar otros sistemas, tenemos a (Maldonado Benalcázar, 2013) que desarrollaron el proyecto "Monitoreo y adquisición de datos de una estación meteorológica a través de una Red Gprs", el cual aporta una sólida base metodológica para el diseño de redes de telemetría. La metodología ejecutada destaco en incorporar un controlador programable (PLC S7-1200) y un módulo de comunicación GPRS, adjuntando un chip celular de telefonía comercial, para enviar las lecturas de diversos sensores (humedad relativa, temperatura, CO₂, CO y la presión atmosférica) hacia un servidor principal. La información fue filtrada a través del software Telecontrol Server Basic y mostrada visualmente mediante un sistema SCADA desarrollado en WinCC flexible 2008. Como resultado, el proyecto demostró que la red GPRS garantiza un enlace rápido, seguro y continuo para entornos de automatización, logrando almacenar y visualizar los registros en tiempo real sin las limitaciones de distancia geométrica que imponen las redes cableadas tradicionales. Esta arquitectura técnica evidencia la viabilidad de utilizar infraestructura celular existente para el control de procesos agrícolas descentralizados. Por su parte tenemos a (Maldonado Reyes, 2017) que presentó el "Estudio y diseño de la instalación de un sistema de monitoreo y control, a través de una red de telecontrol, para la línea de producción de balanceado extrusado de la empresa Gisis". En este trabajo, la metodología se enfocó en estructurar una arquitectura de monitoreo industrial ininterrumpido utilizando igualmente la tecnología GPRS de telefonía móvil, con el fin de enlazar los equipos de la planta productiva con un centro de mando de supervisión ubicado de manera remota. Los resultados del diseño comprobaron que al implementar este tipo de telecontrol se evitan los elevados costos logísticos asociados al despliegue de una red física propia, reduciendo drásticamente los

tiempos de respuesta técnica ante posibles fallas operativas o estados de alerta electromecánicos. El estudio finalizó permitiendo el acceso permanente y a distancia de los parámetros del proceso aumentando directamente la productividad y asegurando el control de confiabilidad y calidad, validando la eficiencia de las redes inalámbricas para preservar la materia prima en el sector agroindustrial.

1.2 Justificación

La puesta en marcha de un sistema de control y gestión automatizado de silos utilizando PLC (controladores lógicos programables) posibilitará mejorar la sostenibilidad, la eficiencia y la confiabilidad de las redes de almacenamiento de granos de las agroindustrias.

Entre los factores que hacen relevante a este proyecto tenemos:

- Reducción de pérdidas postcosecha al mantener condiciones óptimas de almacenamiento.
- Optimización de recursos energéticos, al controlar de manera precisa la ventilación y otros equipos asociados, contribuyendo a la eficiencia energética.
- Facilita la trazabilidad y monitoreo remoto, gracias a la comunicación inalámbrica.
- Ventaja económica cuando se trata de distancias muy extensas de comunicación entre la zona de operabilidad de los silos y el personal encargado de la supervisión de los mismos (>100 m), frente a métodos de comunicación cableados.

1.3 Propuesta

El proyecto está basado en el diseño e implementación de un sistema de gestión y control de almacenamiento de granos mediante la integración de PLC's (Controlador lógico Programable), comunicación inalámbrica GPRS (servicio general de paquete de radio) y pantallas HMI (Interfaz Hombre-Maquina), con el fin de desarrollar una solución automatizada que permita el monitoreo, control y supervisión remota de las variables críticas del proceso de almacenamiento, garantizando condiciones óptimas para la conservación de los granos, reduciendo la intervención manual y contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa, la disponibilidad del sistema y la calidad del producto almacenado.

1.4 Objetivo general

- Diseñar un sistema automatizado de gestión y control para silos de almacenamiento de granos, basado en la integración de PLC's, con comunicación inalámbrica por medio de un módulo de comunicación GPRS, que permita supervisar parámetros de ventilación, temperatura y humedad, reduciendo pérdidas y optimizando el proceso de conservación.

1.4.1 Objetivos específicos

- Analizar los parámetros críticos que influyen en el deterioro de los granos durante su almacenamiento.
- Diseñar la arquitectura del sistema de control distribuido.
- Implementar protocolos de comunicación inalámbrica (GPRS) para el envío de datos hacia un servidor.
- Programar y configurar los PLCs Siemens para la gestión local y global del sistema de almacenamiento.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2 Marco teórico

2.1 Panorama internacional de la producción y almacenamiento de granos

El panorama internacional de la producción de granos muestra un dinamismo histórico, pero altamente concentrado, enfrentando el desafío de alimentar a una población global en crecimiento bajo una creciente volatilidad climática. Citando a las últimas predicciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la elaboración a nivel global de cereales y granos se sostiene en niveles documentadamente altos, esbozando aproximadamente 2,982 millones de toneladas. La presente elevada oferta es sublime de forma numerosa por grandes potencias agrícolas entre ellas: China, Estados Unidos e India, que en conjunto equivalen aproximadamente la mitad de la obtención mundial de los cultivos principales como el trigo, el arroz y el maíz. Sin embargo, a pesar de los rendimientos récord impulsados por mejoras tecnológicas, el sector enfrenta serias amenazas globales debido a la inestabilidad geopolítica y los fenómenos climáticos extremos, que generan una constante incertidumbre sobre la estabilidad de los precios internacionales y la seguridad alimentaria en las regiones más vulnerables.

En la figura 1 podemos contar con los 20 países con mayor agricultura en granos a nivel mundial, en paralelo a la producción, el almacenamiento de granos a escala global se ha convertido en el pilar estratégico para mitigar las fluctuaciones del mercado y garantizar las reservas de alimentos. En este escenario, la distribución y logística internacional se confronta a una limitante de emergencia: por ahora los países con más desarrollo usan modernas y resistentes infraestructuras de silos metálicos con evolución tecnológica de atmósfera usada para disminuir lo máximo posible las mermas, muchas regiones en desarrollo continúan sufriendo pérdidas postcosecha debido al descuido de instalaciones exactas. En base a los informes del Consejo Internacional de Cereales (IGC), sostener conceptos finales sólidos los cuales se orientan al alza para la cebada y el maíz es la primordial defensa de las naciones frente a las conmociones en las redes de suministro. Esto ha impulsado una tendencia global hacia la inversión en terminales de acopio estratégicas que no solo optimicen el espacio de almacenamiento, sino que también aseguren condiciones óptimas de secado y ventilación para preservar la calidad del grano por períodos prolongados.

Figura 1. Los 20 países con mayor agricultura global en el mundo



Fuente: (FAO, 2025-2026)

2.2 Automatización industrial

La automatización industrial consiste en integrar tecnologías de control para gobernar un dispositivo o proceso, al cual se le denomina "planta". Esta disciplina abarca dos grandes escenarios. Uno es la fabricación continua, que es común en sectores como el petroquímico o cementero. Otro escenario es la producción de piezas discretas, o manufacturing, orientada a bienes como vehículos y electrodomésticos. Aunque una misma instalación puede combinar ambas modalidades, su análisis y diseño exigen enfoques metodológicos distintos. (Barrientos et al., 2024).

La historia de la automatización viene remontada hace muchos años atrás, y con la actualización de nuevas tecnologías se han ido implementando mejores dispositivos que sean más dinámicos al momento de realizar tareas.

Un sistema automatizado, podría ser clasificado en dos partes: la parte operativa que engloba los elementos que hacen que una maquina pueda llevar a cabo una tarea, como sensores, actuadores, motores, cilindros, sistemas de visión, entre otros. La segunda parte se basa en el control de estos elementos mediante un autómata programable, API, PLC o estaciones de automatización.

2.2.1 Sistemas de control

En el ámbito de la ingeniería y la automatización industrial, un sistema de control se define como un conjunto de componentes físicos y lógicos interconectados cuyo propósito fundamental es regular, dirigir o comandar el comportamiento de un proceso dinámico, garantizando que las variables de salida respondan con precisión a las directrices o setpoints establecidos por las variables de entrada. Esta relación se gestiona a través de una unidad de procesamiento como un controlador lógico programable, que evalúa continuamente las señales de campo provenientes de la instrumentación. Existen dos tipos de control: control en lazo abierto y control en lazo cerrado.

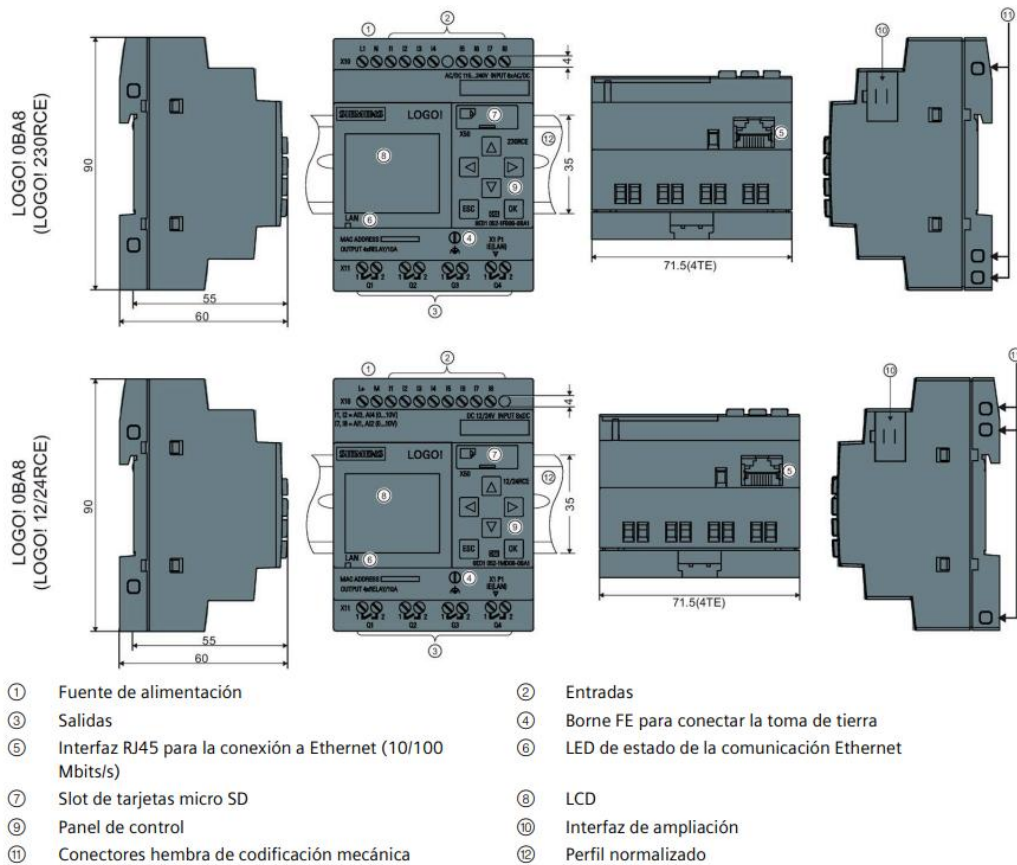
La diferencia fundamental entre las arquitecturas de control radica en cómo manejan la información resultante. En un sistema de bucle abierto (open loop), el controlador actúa "a ciegas", ejecutando su tarea sin verificar el estado real de la variable. Pensemos en una lavadora convencional o en una tostadora: ambas operan basándose estrictamente en temporizadores preestablecidos, asumiendo que el tiempo asignado es suficiente, pero ignorando si la ropa está realmente limpia o el pan alcanzó el tueste deseado. Por el contrario, los sistemas de bucle cerrado (closed loop) se fundamentan en el principio de realimentación o feedback. Aquí, el sistema monitorea constantemente la salida. Un caso clásico es la regulación de nivel en un tanque, donde el caudal de entrada se ajusta continuamente según el volumen actual. A nivel industrial, esto se observa claramente al controlar la velocidad de un motor de corriente continua; para lograrlo, se emplea un taquímetro que censa las revoluciones y devuelve esa lectura a la entrada del controlador, cerrando así el ciclo.

2.2.2 Controladores lógicos programables (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés) constituye el núcleo informático de la automatización moderna. Lejos de ser un ordenador convencional, es una computadora digital de arquitectura industrial, diseñada específicamente para operar bajo condiciones severas: soporta rangos extremos de temperatura, ruido eléctrico y constantes vibraciones mecánicas. Su estructura interna se basa en una Unidad Central de Procesamiento (CPU) que actúa como cerebro, interpretando la lógica de control programada por el ingeniero. Esta unidad se apoya en módulos de entrada/salida (E/S), interfaces de comunicación y memorias internas (a menudo respaldadas por baterías) para salvaguardar el código. Fundamentalmente, un PLC opera como un sistema de tiempo real estricto; su misión es leer el estado de múltiples variables físicas y generar las acciones de salida correspondientes dentro de márgenes de tiempo críticos para el proceso. Los módulos de entrada/salida interactúan con dispositivos externos, como sensores y actuadores, lo que permite al PLC recibir señales de entrada y enviar señales de salida para controlar procesos industriales.

En la figura 2 se dispone las dimensiones y modelo del Logo! 8 usado en el presente estudio, consta con una memoria que almacena el programa del PLC, los datos y la configuración del sistema, mientras que las interfaces de comunicación permiten la conectividad con otros dispositivos y sistemas de la red industrial. Para comprender la arquitectura de hardware del controlador, es fundamental revisar su estructura física. El módulo lógico Siemens LOGO! presenta un diseño compacto que integra la pantalla LCD y el panel de mando en su parte frontal. Tal como se detalla en la Figura 2, el equipo dispone de terminales claramente distribuidos para la conexión de la fuente de alimentación, las entradas y las salidas de señal.

Figura 2. La estructura de LOGO!



Fuente: (Siemens, 2022)

2.2.3 Entradas y salidas digitales y analógicas

En los sistemas de instrumentación, las señales analógicas se definen por presentar una variación continua de voltaje que es proporcional a la magnitud física censada. Un ejemplo clásico es el sensor LM335; en este dispositivo, la temperatura real se determina traduciendo directamente el nivel de tensión eléctrica que entrega en sus terminales. En contraposición, las señales digitales obedecen a una lógica discreta y se limitan a dos estados mutuamente excluyentes en un instante dado: nivel alto (HIGH) o nivel bajo (LOW). Al procesar entradas digitales, el microcontrolador no evalúa la fluctuación continua del voltaje, sino que únicamente discrimina si la señal eléctrica supera o no los umbrales lógicos predefinidos para considerar el circuito como activado o desactivado.

Ejemplo: un tanque de agua que se llena con una bomba se controla con entradas digitales el cual solo tendría dos estados: la bomba enciende si el tanque este vacío es igual a uno “1”, la bomba se apaga si el tanque está lleno es igual a cero “0”. Mientras que en el mismo caso anterior si ahora tenemos el control con señales analógicas podríamos obtener los valores de nivel de agua del tanque en tiempo real y ejecutar acciones de llenado o cualquier otro tipo de instrucción antes de tener el tanque vacío.

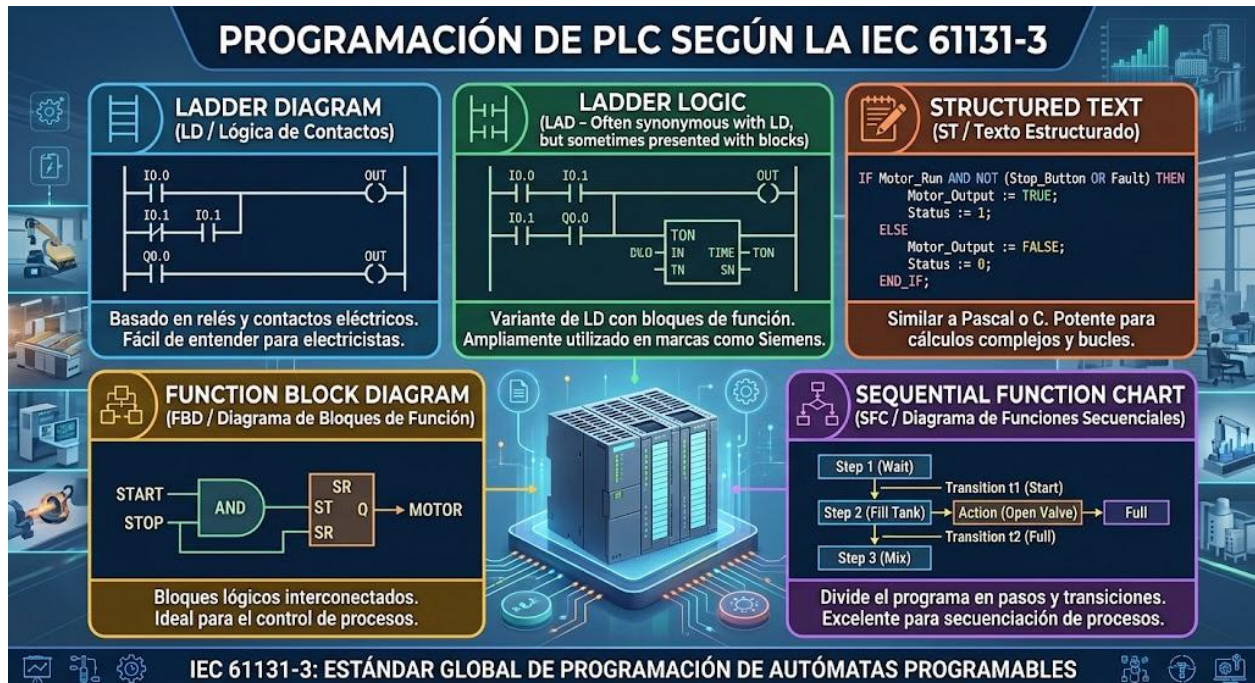
2.2.4 Programación de PLC según la IEC 61131-3

Según la normativa IEC 61131-3, los 5 lenguajes estandarizados para programación de PLC son:

- **Diagrama de Contactos o Ladder (LD):** Es el entorno gráfico más tradicional, inspirado directamente en los esquemas de lógica por relés. Su curva de aprendizaje es mínima para el personal eléctrico, lo que lo hace ideal para enclavamientos y lógica combinacional simple. No obstante, en arquitecturas muy extensas, su depuración visual se vuelve tediosa.
- **Diagrama de Bloques de Funciones (FBD):** Permite construir el programa conectando bloques predefinidos que ejecutan funciones específicas. Resulta muy visual e intuitivo para modelar flujos de señales y lazos de control PID, siendo excelente para sistemas de complejidad media.
- **Texto Estructurado (ST):** A diferencia de los anteriores, es un lenguaje de alto nivel con una sintaxis similar a C o Pascal. Es la herramienta por excelencia para manejar algoritmos matemáticos complejos, matrices o bucles condicionales. Garantiza una alta escalabilidad, aunque exige una sólida base en programación algorítmica.
- **Lista de Instrucciones (IL):** Consiste en un lenguaje de bajo nivel, semejante al lenguaje ensamblador (assembler). Aunque su uso ha disminuido a favor del Texto Estructurado, permite una ejecución sumamente rápida y un control absoluto sobre la memoria del autómatas.
- **Diagrama Funcional Secuencial (SFC):** Más que un lenguaje de programación base, es una herramienta de estructuración analítica. Se apoya en etapas y transiciones para organizar procesos secuenciales, facilitando enormemente el diagnóstico de fallos en maquinarias que operan por fases.

En la figura 3 se destacan los 5 lenguajes de programación utilizados en cualquier sistema automatizado mediante PLC.

Figura 3. Lenguajes de programación IEC 61131-3



2.2.5 Ventajas del uso de PLC en la industria

El uso de controladores lógicos programables (PLC) en sistemas de control industrial tiene varias ventajas:

- **Fiabilidad:** Su arquitectura de hardware está expresamente concebida para soportar condiciones industriales severas, como altas temperaturas, ruido eléctrico y vibraciones continuas. Esta robustez garantiza una tasa de fallos significativamente menor en comparación con soluciones basadas en ordenadores convencionales.
- **Flexibilidad:** La naturaleza basada en software de estos equipos permite modificar la lógica del proceso sin necesidad de alterar el cableado físico de la planta. Esto asegura una rápida adaptación ante cualquier cambio en los requerimientos de producción.
- **Facilidad de integración:** Gracias al uso de lenguajes estandarizados, como los mencionados en la norma IEC 61131-3, el desarrollo del código resulta accesible para el personal técnico. Además, los entornos de programación actuales cuentan con herramientas de diagnóstico intuitivas que agilizan la detección de fallos.

- Rentabilidad: Si bien la inversión inicial depende de la escala del proyecto, su ciclo de vida prolongado y la drástica reducción en los tiempos de inactividad técnica optimizan los costos globales de instalación y mantenimiento a largo plazo.
- Seguridad: El procesamiento determinista del autómatas permite programar enclavamientos y rutinas críticas. El sistema puede interrumpir instantáneamente la operación si censa variables de riesgo, como sobrecargas térmicas o peligro de colisión mecánica, salvaguardando tanto la maquinaria como la integridad del operador.

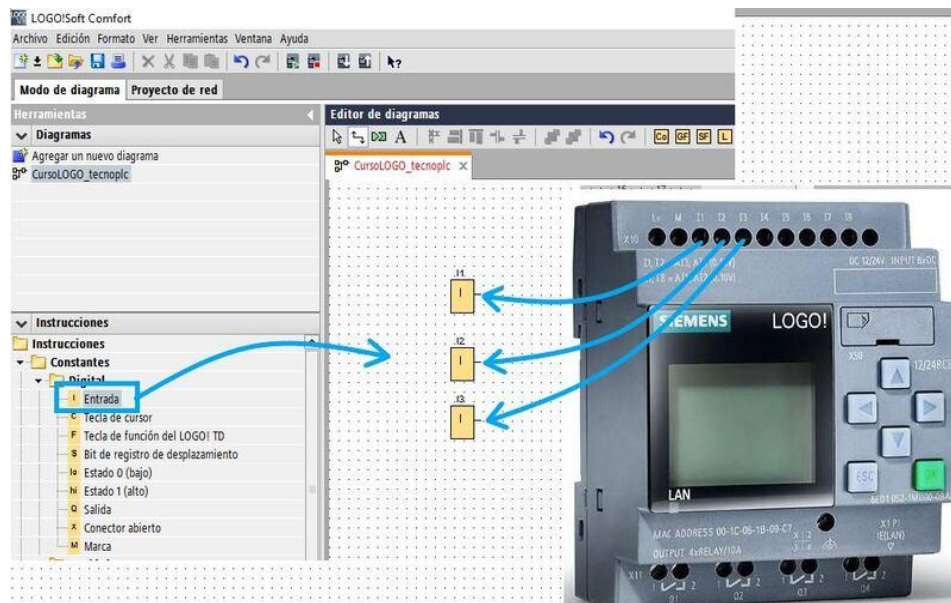
2.3 LOGO Soft Comfort

El controlador lógico LOGO! representa una solución eficiente para proyectos de automatización que no requieren la capacidad de procesamiento de un PLC de gama alta, pero que exigen más versatilidad que la lógica cableada convencional. Físicamente, el módulo destaca por su formato reducido, concebido para su instalación rápida en armarios de control mediante fijación en riel DIN.

Su principio de operación se basa en la lectura de estados a través de sus puertos de entrada (conectados a dispositivos de campo como interruptores o sensores perimetrales) para ejecutar un algoritmo que determina la activación de los receptores eléctricos acoplados a sus salidas, tales como bobinas o motores de baja potencia. La programación de esta lógica se realiza a través del software propietario LOGO! Soft, el cual actúa como la interfaz entre el ingeniero y el módulo. Además de sus capacidades lógicas fundamentales, las versiones recientes del dispositivo han ampliado su campo de aplicación al incorporar puertos de comunicación para redes industriales e intercambio de datos con servidores en la nube. (Siemens, 2025)

En la figura 4 tenemos una referencia del área de trabajo de LOGO Soft vinculadas a las entradas del programa con las entradas del PLC.

Figura 4. Software LOGO Soft Comfort



Fuente: (Siemens, 2022)

2.3.1 ¿Qué puede hacer Logo?

El campo de aplicación del módulo LOGO! abarca desde la automatización de edificios (domótica) hasta el control a pequeña escala en entornos industriales. En el ámbito de las instalaciones civiles, permite gestionar eficientemente circuitos de iluminación, persianas motorizadas y sistemas de control de accesos. Por otro lado, dentro del sector de la ingeniería mecánica y el diseño de tableros de distribución, su capacidad de procesamiento lo hace idóneo para gobernar sistemas de climatización, estaciones de bombeo hídrico y automatismos en puertas industriales, demostrando una alta versatilidad funcional.

- Control de iluminación: Encendido y apagado automático de luces en edificios, pasillos, estacionamientos o alumbrado público.
- Control de bombas: Arranque y paro de bombas de agua, sistemas de riego, cisternas y tanques.
- Sistemas de ventilación y climatización: Control de ventiladores, extractores, aire acondicionado y calefacción.
- Automatización de puertas y portones: Control de portones eléctricos, puertas automáticas y barreras de acceso.

- Control de motores simples: Arranque directo, inversión de giro y temporización de motores.
- Sistemas de alarma y seguridad: Alarmas de intrusión, detección de humo, sensores de movimiento.
- Control de semáforos simples: Semáforos en estacionamientos, cruces internos o prácticas educativas.
- Automatización en invernaderos: Control de riego, iluminación y ventilación.
- Bandas transportadoras pequeñas: Encendido, apagado y conteo de productos.
- Automatización residencial (domótica básica): Persianas, iluminación, bombas, climatización.

2.4 Sensores y actuadores

En el ámbito de la instrumentación y el control, un sensor funciona como el elemento primario de medición. Su tarea fundamental consiste en detectar variaciones en una magnitud física del entorno (como la temperatura, la humedad o el nivel de un depósito) y transducir dicho fenómeno en una señal eléctrica. Esta salida, que puede presentarse como un voltaje analógico continuo o como una trama digital, es posteriormente acondicionada para su transmisión, procesamiento lógico o visualización en una interfaz hombre-máquina (HMI). El principio subyacente es universal: captar un evento físico y convertirlo en datos cuantificables para la toma de decisiones automatizada.

2.4.1 Sensores de temperatura

Dentro del diseño de sistemas de control, las sondas térmicas o sensores de temperatura son dispositivos encargados de cuantificar la energía térmica de un entorno. Su principio de funcionamiento radica en la transducción: convierten las variaciones térmicas en magnitudes eléctricas medibles. Esta conversión puede darse a través de la variación de su resistencia interna (como ocurre en los RTD o termistores) o mediante la generación directa de voltaje (como en los termopares). En la automatización de procesos, adquirir estas lecturas es indispensable para supervisar variables críticas, activar alarmas o cerrar lazos de control en los tableros eléctricos.

2.4.2 Sensores de humedad

En el contexto de la instrumentación, el sensor de humedad, técnicamente denominado higrómetro, es un transductor diseñado para cuantificar el porcentaje de agua presente en el ambiente o en el volumen de un material sólido. Aunque es un instrumento clásico en la meteorología, su integración es crítica en el sector agroindustrial para el monitoreo de entornos de almacenamiento. A nivel de hardware, es habitual que estos dispositivos integren también la medición de temperatura en un mismo encapsulado; la correlación de ambas variables (temperatura y humedad relativa) resulta indispensable para que el sistema de control calcule parámetros derivados, como el punto de rocío, previniendo así la condensación en espacios confinados.

2.4.3 Sensores de nivel

En la automatización de procesos, el sensor de nivel es un instrumento fundamental diseñado para cuantificar la altura o el volumen de un material, ya sea líquido o un sólido a granel, almacenado dentro de un contenedor o silo. A nivel de instrumentación, estos dispositivos se dividen en dos categorías operativas. Por un lado, los detectores de nivel puntual se instalan en cotas específicas para actuar como interruptores de límite; su objetivo es disparar alarmas lógicas que adviertan sobre situaciones críticas, como el riesgo de sobrellenado o el vaciado total del recipiente. Por otro lado, los sensores de medición continua operan con mayor sofisticación. En lugar de alertar sobre un único punto, monitorean la variable en tiempo real a lo largo de todo el rango operativo del tanque, entregando una señal analógica proporcional a la cantidad de producto. Al integrar esta salida en un lazo de control cerrado, el sistema automático puede gestionar la dosificación dinámicamente y reflejar los datos en una interfaz visual para el operador.

2.5 Modulo CMR2020 de Siemens

El módulo de comunicación LOGO! CMR2020 actúa como la interfaz de red móvil para el controlador LOGO! 8. Su implementación permite descentralizar la supervisión del proceso, habilitando el intercambio de datos a través de redes celulares mediante una tarjeta SIM, lo que elimina la dependencia de infraestructuras de red locales. Bidireccionalmente, este dispositivo permite que el automático reciba comandos de ejecución remota vía mensajes de texto (SMS) desde equipos autorizados, al tiempo que

transmite de forma autónoma reportes de diagnóstico, estados de variables operativas y alarmas ante fallos. Esta capacidad de alerta temprana es crucial en infraestructuras de difícil acceso, como es el caso de los silos agrícolas o estaciones de bombeo aisladas, ofreciendo un monitoreo continuo sin requerir la arquitectura de red compleja de un sistema SCADA. Físicamente, como se ilustra en la Figura 5, el hardware dispone de un panel frontal que concentra los bornes de alimentación y los puertos coaxiales para la conexión de las antenas de telecomunicación y posicionamiento global.

Figura 5. Vista frontal de modulo CMR2020



Fuente: (Siemens, 2017)

2.5.1 Definición de GPRS

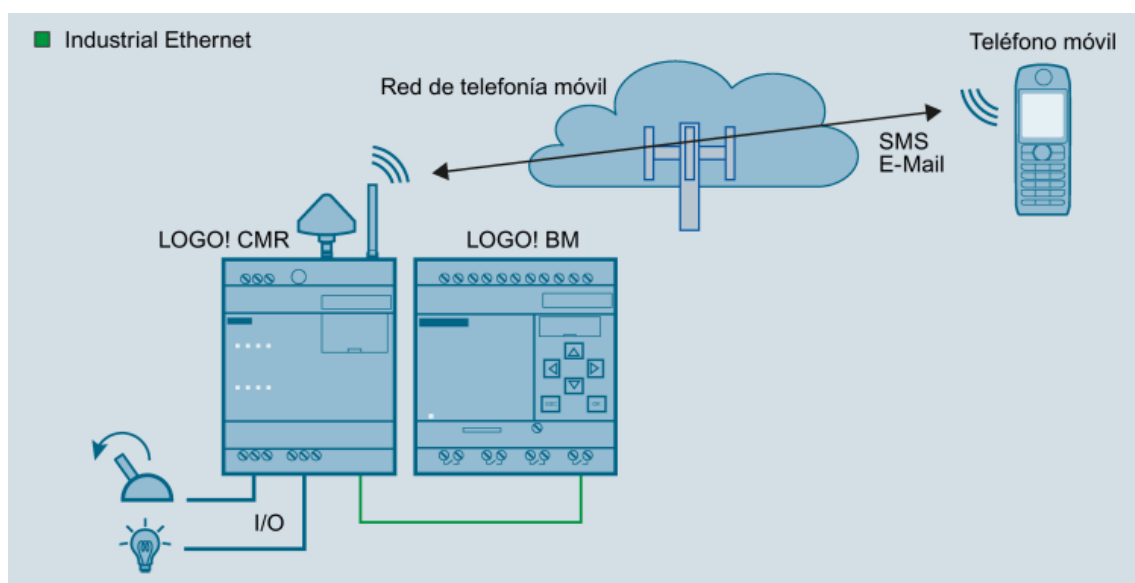
El Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS, por sus siglas en inglés) es una tecnología de comunicaciones móviles clasificada como generación 2.5G, desarrollada como una extensión de las redes GSM. Su mayor innovación radica en la transición hacia la conmutación de paquetes. A diferencia del sistema GSM clásico, que utiliza conmutación de circuitos y mantiene un canal reservado de forma ineficiente durante toda la conexión, el GPRS transmite información en bloques discretos solo cuando hay datos disponibles. Aunque en la actualidad existen redes más veloces, el protocolo GPRS sigue siendo un estándar fundamental en el campo de la telemetría y la automatización industrial. Su arquitectura de paquetes permite mantener conexiones "siempre activas"

consumiendo un ancho de banda mínimo, lo que resulta ideal para transmitir variables de control y alarmas desde infraestructuras remotas con alta fiabilidad, aprovechando la extensa cobertura geográfica de las antenas celulares existentes.

2.5.2 Funcionamiento del GPRS

A nivel operativo, la tecnología GPRS fundamenta su eficiencia en la transmisión de paquetes de datos bajo demanda. En las redes GSM tradicionales, las ranuras de tiempo (timeslots) se asignan de manera dedicada mediante conmutación de circuitos, bloqueando el canal de comunicación de forma ineficiente. Por el contrario, el GPRS asigna estos intervalos de forma dinámica; los recursos radioeléctricos solo se ocupan en el instante exacto en que se transmite o recibe un paquete, liberando las frecuencias durante los periodos de inactividad. Esta multiplexación evita la saturación de la red y permite agrupar múltiples canales. Mientras el sistema GSM se limita a un canal de subida y otro de bajada (alcanzando apenas 9,6 kbps), un terminal GPRS puede gestionar hasta cuatro canales de recepción y dos de transmisión simultáneos, logrando tasas prácticas de entre 20 y 60 kbps. Aprovechando esta eficiencia espectral, el presente proyecto implementa una arquitectura de telemetría GPRS para el monitoreo del sistema. Tal como ilustra la Figura 6, la topología establece un enlace de área local vía Ethernet Industrial entre el PLC principal y el módulo de comunicación, operando este último como una pasarela (gateway) directa hacia la red de telefonía celular.

Figura 6. Comunicación de telefonía móvil con LOGO! BM



Fuente: (Siemens, 2017)

2.5.3 Arquitectura de red GPRS

La arquitectura de red GPRS (General Packet Radio Service) es la estructura que permite transmitir datos por paquetes sobre la red GSM, integrando nuevos nodos a la red celular tradicional para ofrecer servicios de acceso a Internet, correo y transmisión de datos en tiempo real. Puede considerarse una evolución de la red GSM, que transporta datos conmutados por circuitos y por paquetes. La arquitectura de red GPRS también sirvió de base para la red 3G UMTS. De esta forma, los operadores de red pudieron evolucionar sus redes mediante GPRS y posiblemente EDGE hasta alcanzar las redes 3G completas sin tener que reemplazar ni instalar más equipos nuevos de los estrictamente necesarios. Al definir la arquitectura de red GPRS para el sistema de monitorización, resulta imperativo evaluar la viabilidad técnica de este estándar de comunicación frente a las necesidades específicas del proyecto. Si bien existen redes celulares más modernas, el protocolo GPRS ofrece características operativas que se ajustan de manera eficiente a la recolección de datos en entornos agrícolas, los cuales a menudo se encuentran en zonas con limitaciones de conectividad. Tal como se resume en la Tabla 1, la evaluación de esta tecnología presenta un balance claro de ventajas y desventajas. Atributos como su amplia cobertura, bajo consumo energético e idoneidad para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) de baja complejidad, justifican su implementación.

Tabla 1. Ventajas y limitaciones del GPRS

Ventajas y limitaciones del GPRS

Ventajas	Desventajas
Conexión permanente	Muy baja velocidad
Amplia cobertura	Alta latencia
Bajo consumo	Tecnología obsoleta
Cobro por datos	No apta para apps modernas
Ideal para IoT simple	Capacidad limitada

2.6 Automatización de procesos agrícolas: caso almacenamiento de granos

La modernización del sector agroalimentario responde, en gran medida, a la necesidad de optimizar la producción frente a la progresiva migración de la fuerza laboral hacia otras áreas de la economía. Desde la perspectiva de la ingeniería, la automatización permite suplir esta escasez de personal y elevar la productividad mediante la tecnificación de los procesos. Un caso crítico es la gestión postcosecha. Tradicionalmente sujeta a la supervisión manual, el almacenamiento de granos en silos ha evolucionado hacia arquitecturas de control inteligente sustentadas en redes de sensores de temperatura, humedad y CO₂. De acuerdo con la FAO, automatizar esta etapa permite al sistema reaccionar de forma autónoma ante fluctuaciones microclimáticas, logrando mitigar las pérdidas de inventario hasta en un 20 %. A nivel operativo, un autómatas gestiona la aeración (ventiladores y extractores) condicionando su encendido estrictamente a que los parámetros del aire exterior resulten favorables, maximizando así la eficiencia energética y la preservación del grano.

En el estado actual de la técnica, estas plataformas trascienden el simple control ambiental. La integración del Internet de las Cosas (IoT) y herramientas algorítmicas permite analizar el comportamiento histórico de las variables físicas para predecir anomalías, como la aparición de focos de calor derivados de actividad fúngica o insectos fitófagos. Para el productor, esta centralización de datos significa poder monitorear remotamente toneladas de producto (incluso desde plataformas móviles, aprovechando redes de telemetría) y aplicar medidas correctivas ecológicas con precisión milimétrica, requiriendo una intervención humana directa casi nula.

2.6.1 Aplicación de sistemas de control en silos

Los sistemas de control de silos aplican tecnologías avanzadas para gestionar el llenado, almacenamiento y vaciado de materiales a granel, garantizando seguridad y eficiencia. Mediante sensores de nivel (láser, ultrasonido), temperatura, humedad y CO₂, estos sistemas automatizan la aireación, previenen sobrellenados y monitorizan el stock en tiempo real vía software de gestión y aplicaciones móviles.

La aplicación de sistemas de control inteligente y automatizado en silos de almacenamiento ha revolucionado la conservación postcosecha, permitiendo mitigar de manera eficiente los riesgos de deterioro biológico y ambiental. Mediante la integración de redes de sensores que miden continuamente variables críticas como la temperatura, la

humedad relativa y la concentración de dióxido de carbono (CO₂), estos sistemas de control supervisan el ecosistema interno del grano en tiempo real. Al procesar estos datos, el controlador (PLC) ejecuta algoritmos que regulan de forma autónoma la activación de extractores y ventiladores de aireación, interviniendo únicamente cuando las condiciones del aire exterior son favorables. Esta precisión en el control no solo previene de manera drástica los focos de calor y la proliferación de hongos o insectos, sino que también optimiza el consumo energético de las plantas de acopio al evitar el funcionamiento innecesario de motores de gran potencia. (Gastón, 2024, págs. 115-128)

2.6.2 Gestión de almacenamiento

En la planificación industrial agropecuaria, las plantas de silos se proyectan para el acopio masivo de una amplia variedad de sólidos a granel, abarcando desde cereales y leguminosas hasta semillas oleaginosas. La arquitectura y dimensionamiento de la instalación, es decir, el número y capacidad de los silos, están estrictamente subordinados a los volúmenes de producción esperados y a las especificaciones del material. Dado que mezclar distintas variedades, humedades o grados de calidad en un mismo receptáculo compromete la integridad del producto, la segmentación del almacenamiento en múltiples celdas independientes resulta un criterio de diseño obligatorio.

2.6.3 Monitoreo de variables críticas

La preservación del grano en el interior de un silo depende de la mitigación proactiva de factores desestabilizadores, iniciando desde la recepción del material. Si la cosecha ingresa con un alto nivel de impurezas, resulta imperativo el uso de sistemas de prelimpieza. Estos residuos no solo actúan como vectores de plagas, sino que usualmente presentan una humedad superior a la del propio grano; al acumularse, obstruyen el flujo de aire de los sistemas de aeración y generan zonas de alta temperatura por compactación. De igual manera, ingresar grano húmedo sin un paso previo por equipos de secado desencadena rápidamente la proliferación de microorganismos, lo que puede resultar en la descomposición térmica de la masa e incluso comprometer la integridad estructural del silo.

La gestión térmica se vuelve aún más crítica en regiones de alta radiación solar. La disparidad en la conductividad térmica entre la envolvente metálica del depósito y el grano almacenado provoca la migración del aire intersticial cálido y húmedo hacia las zonas más frías. Este fenómeno físico culmina en la condensación de humedad y el

deterioro inminente del producto. Para evitar este gradiente térmico, se requiere el accionamiento de sistemas de aeración mecanizados (compuestos por motoventiladores y ductos en pisos perforados) gobernados por termosensores, los cuales homogeneizan la temperatura interna. A nivel constructivo, estas instalaciones se complementan con bases planas o cónicas para facilitar el flujo de descarga y techos con inclinaciones estandarizadas (típicamente 25°) para proteger el inventario.

2.7 Principios Termodinámicos del Almacenamiento

El grano almacenado es un organismo vivo que respira. El objetivo principal de la automatización es restringir su actividad metabólica y evitar la proliferación de amenazas biológicas (hongos e insectos). Para ello, el sistema de control basa sus decisiones en dos variables interdependientes:

- **Humedad de Equilibrio (EMC - Equilibrium Moisture Content):** El grano intercambia agua con el aire que lo rodea. Existe una correlación física directa entre la Humedad Relativa del aire (HRE) y la humedad interna del grano. Según las tablas estándar de ingeniería agrícola (ASABE y FAO), si el aire en el espacio intergranario supera el 65% - 70% HRE, los granos se verán forzados a absorber humedad por encima de sus límites seguros, creando las condiciones propicias para la germinación de esporas de hongos.
- **Temperatura (Principio General):** A diferencia de la humedad, la temperatura es un parámetro universal para casi todos los granos comerciales. Los insectos de almacén (como los gorgojos) son organismos heterotermos; su metabolismo y capacidad reproductiva entran en letargo (diapausa) a temperaturas inferiores a 15°C - 18°C. Asimismo, obedeciendo a la regla biológica del coeficiente térmico, por cada aumento de 5°C a 10°C, la tasa de respiración del grano y el desarrollo de hongos prácticamente se duplica. (FAO, 1993)

2.8 Límites Críticos de Humedad por Tipo de Grano

Los umbrales de seguridad varían drásticamente según la composición bioquímica de cada semilla. No es lo mismo almacenar un grano rico en almidón que uno rico en aceites. A continuación, se detalla el comportamiento físico de cada grano para justificar los "setpoints" elegidos en la programación del autómata.

2.8.1 Maíz (Grano Amiláceo)

El maíz es un cereal compuesto principalmente por almidón, el cual actúa como una excelente "esponja" para la humedad. Mantener el maíz por encima del 14% durante periodos prolongados genera un riesgo exponencial de proliferación del hongo *Aspergillus flavus*, productor de aflatoxinas altamente tóxicas.

Para garantizar la inocuidad del producto, la automatización se basa en dos estados operativos y su relación con el aire:

- Límite Operativo de Recibo (14.5% - 15.0%): Es un estándar operativo (sugerido por universidades agronómicas como la NDSU). Indica el límite máximo temporal de almacenamiento antes de requerir secado forzado de emergencia para evitar el rápido deterioro.
- Límite Seguro (Almacenamiento Prolongado): 13.0% - 13.5%. Este es el objetivo final de la automatización.
- Correlación de Equilibrio: Según las tablas de isothermas de sorción de la FAO y ASABE (Asociación Americana de Ingenieros Agrícolas), para que el maíz logre mantenerse físicamente en este 13% de humedad interna, el aire que lo rodea en el silo no debe superar el 60% a 65% de Humedad Relativa (HR) a 25°C. (FAO, 1993)

2.8.2 Arroz (Paddy / Con Cáscara)

A diferencia del maíz o la soya que a menudo se trituran o procesan para harinas y aceites, el valor comercial del arroz radica en su integridad física: se consume como grano entero. Esto lo convierte en el grano más delicado de manejar térmicamente. Si el arroz se almacena con altos niveles de humedad y el autómatas inyecta aire demasiado seco o a una temperatura inadecuada, se genera un gradiente de humedad brusco dentro del grano que provoca su fisuración (se quiebra internamente). Un arroz almacenado por encima del 14% sufre el ataque inmediato de microorganismos que manchan el grano y arruinan su calidad de molienda (aumentando el porcentaje de grano partido). (FAO, 2010)

Por lo tanto, la programación debe apuntar a un secado y mantenimiento sumamente cuidadoso y gradual, estabilizándolo un punto por debajo del estándar de otros cereales.

- Límite Máximo de Recibo: 14.0%
- Límite Seguro (Almacenamiento Prolongado y Molienda): 12.0% - 13.0%

2.8.3 Trigo

El trigo es la base de la panificación mundial. Su calidad depende de la viabilidad de sus proteínas (el gluten). Cuando el trigo se almacena por encima del 14%, la respiración de la propia semilla y de los hongos primarios genera un calor intenso dentro del silo. Este proceso térmico degrada la calidad panadera del trigo. Además, el trigo es extremadamente susceptible a las plagas de almacén; si la humedad relativa en los espacios intergranarios supera el 65% (lo que equivale a un grano de trigo al 14.5% de humedad a 20°C), se crea el ecosistema perfecto para la proliferación masiva de gorgojos, taladrillos y ácaros que consumen el endospermo de la semilla. (AHDB, 2026)

- Límite Máximo de Recibo: 14.5%
- Límite Seguro (Almacenamiento Prolongado): 13.5% - 14.0%

CAPITULO III DISEÑO DEL PROYECTO, MATERIALES Y METODOS

3 Metodología

3.1 Tipo de investigación

La investigación se enmarca dentro de un enfoque descriptivo, proyectivo y cuantitativo. Se considera descriptiva debido a que permite analizar y describir las características, la estructura y el funcionamiento técnico del sistema de gestión y control de almacenamiento de granos.

El estudio es de tipo proyectivo porque, con base en el análisis técnico y teórico desarrollado, se propone el diseño e implementación de una solución tecnológica integrando PLC's, comunicación inalámbrica GPRS y pantallas HMI para optimizar el monitoreo, el control y la supervisión del sistema.

Además, el presente estudio tiene un enfoque cuantitativo, porque se muestra datos medibles como temperaturas, humedad y niveles de CO₂ (Tiempo real).

3.2 Tipo de estudio

El estudio es de tipo proyectivo, ya que hace referencia y es orientado a un análisis técnico y teórico en el diseño e implementación de un sistema automático de gestión y control de almacenamiento de granos.

La presente investigación tiene como finalidad realizar sus simulaciones correspondientes en software (Logo V8.4) e implementar lo simulado en los tableros de Automatización en la facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura de la Carrera de Electricidad.

3.3 Descripción general del proceso a automatizar

El proceso físico a simular y controlar consiste en un silo industrial destinado al almacenamiento prolongado de tres distintos tipos de granos a granel. El objetivo fundamental de esta estructura es preservar la calidad postcosecha de la materia prima, mitigando su deterioro natural y evitando la proliferación de hongos e insectos. Para lograr esto, el silo interactúa con el clima exterior utilizando un sistema de ventilación forzada compuesto por turbinas de inyección en la base y extractores en el techo.

El sistema deberá funcionar de manera autónoma bajo las siguientes condiciones y directrices operativas:

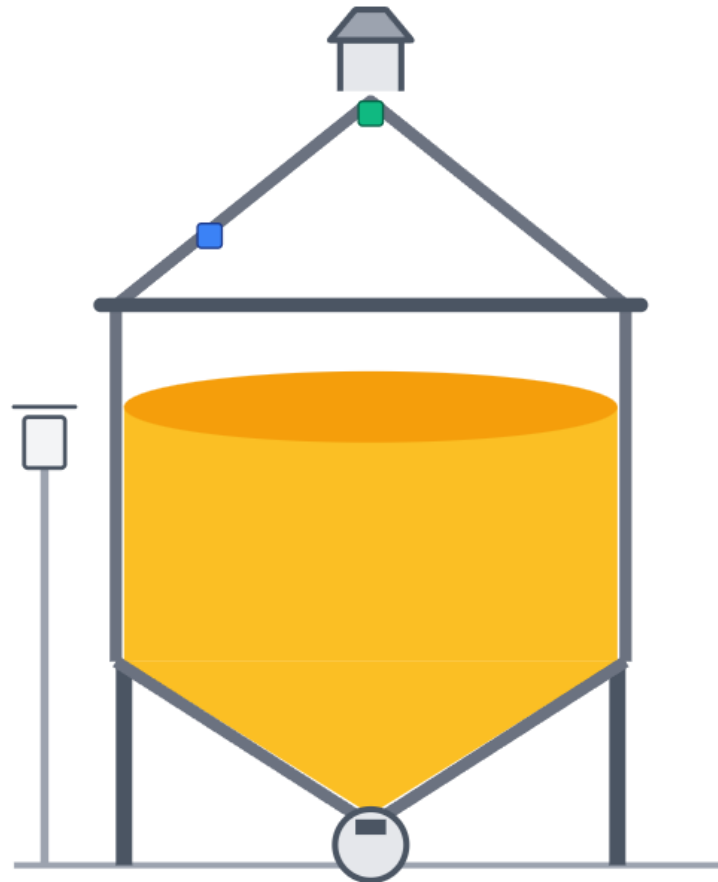
- **Preservación térmica y secado:** El grano debe mantenerse en un estado térmico seguro. La aeración solo se permitirá si el clima exterior presenta condiciones favorables (aire más frío y seco que el interior) para garantizar un intercambio eficiente.
- **Prevención de condensación:** Se debe evitar la saturación de vapor de agua en la cúpula del silo para prevenir el fenómeno conocido como "lluvia de silo", el cual humedece y pudre la capa superior del granel.
- **Bloqueo por clima adverso:** El sistema debe suspender cualquier inyección de aire si el ambiente exterior presenta una humedad excesiva, protegiendo la carga interna.
- **Alerta biológica:** El sistema debe identificar oportunamente el incremento anormal de gases producto de la respiración celular acelerada, indicando focos de calor o actividad de plagas.

Para garantizar el cumplimiento de estas condiciones operativas y la correcta toma de decisiones, se requerirá monitorear de forma continua las siguientes variables físicas:

- **Temperatura:** Mediciones en el núcleo de la masa de grano y en el ambiente exterior.
- **Humedad Relativa:** Mediciones en el espacio de aire atrapado bajo el techo (cúpula) y en la intemperie.
- **Niveles de Dióxido de Carbono (CO₂):** Medición de gases internos como indicador temprano de actividad biológica indeseada.

Para una mejor comprensión del entorno de trabajo, la Figura 7 presenta un esquema representativo de la arquitectura física del silo, detallando el proceso a automatizar.

Figura 7. Diagrama de la arquitectura física del silo de almacenamiento.



3.4 Lógica de funcionamiento automatizada

El ciclo del autómatas comienza con la lectura simultánea de todos los sensores analógicos para tener una radiografía instantánea tanto del interior del silo como del clima exterior. La primera decisión que toma el programa es puramente de seguridad y obedece a la regla de oro de la aeración: evalúa la humedad relativa externa (AI4). Si esta supera el 70%, el sistema entra en un estado de bloqueo general, apagando de inmediato los ventiladores y el extractor para evitar inyectar humedad al grano, sin importar lo que dicten los demás sensores.

Si el clima exterior es seguro, el controlador evalúa si el grano necesita intervención para enfriarse o secarse. Para enfriar, verifica si la temperatura interna del granel (AI1) supera los 18°C y, simultáneamente, comprueba que el aire exterior (AI3) sea al menos 5°C más frío, garantizando así un intercambio térmico eficiente. Como condición alternativa en esta misma etapa, evalúa si existe acumulación de vapor en la cúpula (AI2

mayor al 65%). Si se cumple cualquiera de estos dos escenarios, el sistema enciende tanto los ventiladores de la base (Q1) como el extractor de techo (Q2) para forzar una corriente de aire ascendente que estabilice la masa.

En caso de que el grano esté térmicamente estable y no requiera una aireación profunda desde la base, el programa realiza una verificación secundaria enfocada exclusivamente en el techo. Si detecta que la humedad en el espacio de aire atrapado de la cúpula es superior al 65%, enciende únicamente el extractor superior (Q2). Esta maniobra preventiva evacúa el vapor acumulado antes de que la caída de temperatura nocturna provoque condensación y genere la "lluvia de silo", ahorrando además energía al no encender las pesadas turbinas de la base.

De forma paralela y continua a las decisiones de ventilación, el autómatas ejecuta una rutina de vigilancia independiente para prevenir desastres. Si el sensor de gases detecta que el nivel de dióxido de carbono (AI5) supera las 1000 ppm, activa una alarma preventiva de alerta (Q3), avisando sobre una incipiente respiración de hongos o insectos. Si la situación empeora y el CO2 cruza la barrera crítica de las 2000 ppm, o si la temperatura física del grano se dispara por encima de los 30°C, el sistema gatilla la alarma de emergencia máxima (Q4). Esto indica un riesgo inminente de pérdida de cosecha que requiere intervención humana inmediata. Una vez completado este análisis, el ciclo lógico termina y se reinicia al instante para continuar monitoreando la planta. En la figura 8 podemos apreciar todo el proceso de manera gráfica mientras que en la tabla 2 se recopila en un listado todas las variables que formaran parte del sistema y una breve descripción de sus condiciones de funcionamiento:

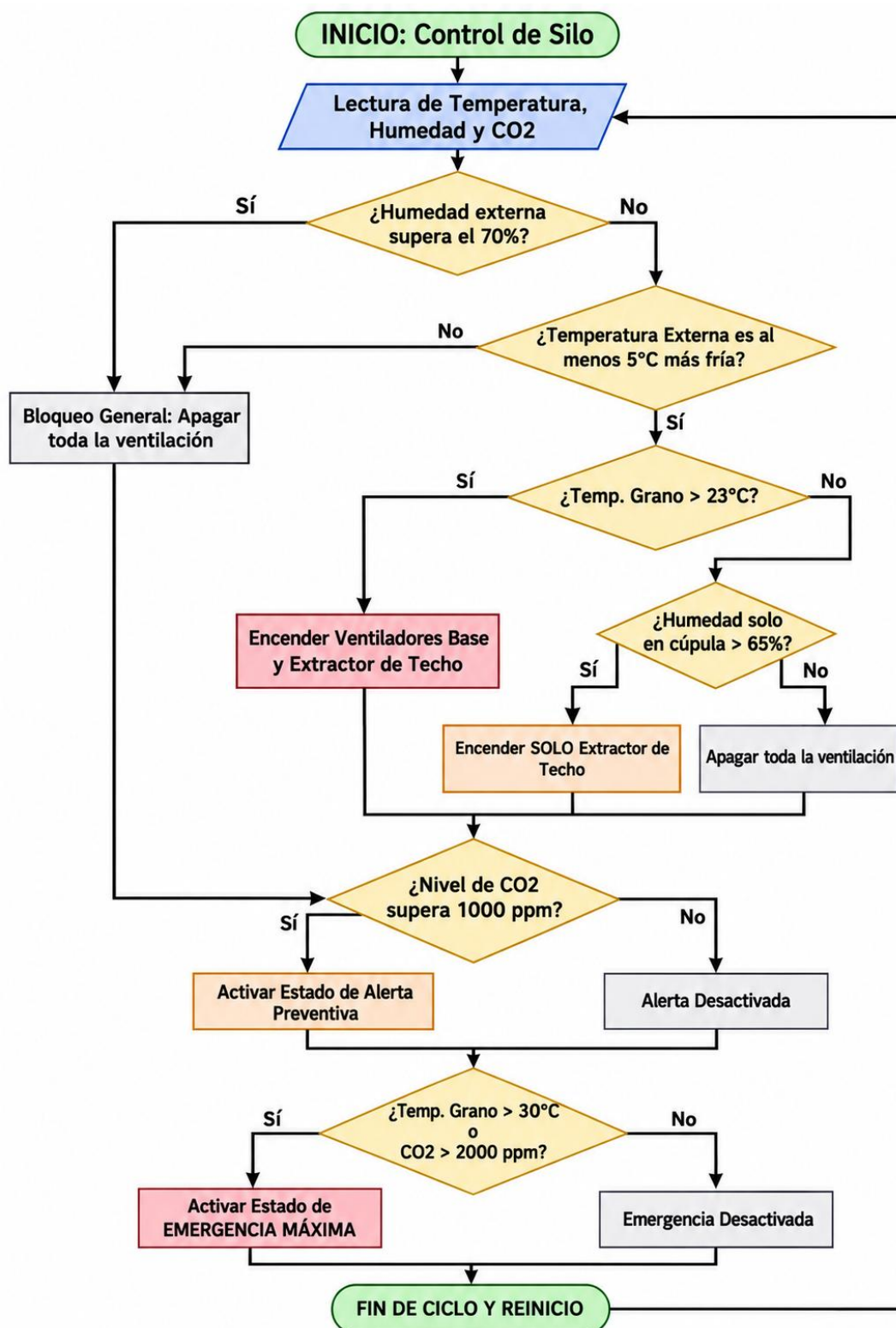
Tabla 2. Resumen de entradas y salidas del sistema de control del silo

Resumen de entradas (sensores) y salidas (actuadores/alarmas) del sistema de control del silo.

Identificador	Tipo de		Descripción y Función Operativa
	Señal	Dispositivo/Variable	
AI1	Entrada	Sensor de	Mide el calor en el núcleo del granel.
	Analógica	Temperatura Interna	Permite iniciar enfriamiento (>18°C).

AI2	Entrada Analógica	Sensor de Humedad Interna	Mide el vapor en la cúpula. Permite activar extracción preventiva si la humedad relativa supera el 65%.
AI3	Entrada Analógica	Sensor de Temperatura Externa	Mide el clima ambiente. Asegura que el aire inyectado sea al menos 5°C más frío que el grano.
AI4	Entrada Analógica	Sensor de Humedad Externa	Mide la humedad ambiente. Actúa como seguro principal: bloquea toda la ventilación si supera el 70%.
AI5	Entrada Analógica	Sensor de CO2 (NDIR)	Detecta actividad biológica/respiración. Gatilla alerta a las 1000 ppm y emergencia a las 2000 ppm.
Q1	Salida Digital	Ventiladores de Base (Inyectores)	Actuador que fuerza la entrada de aire fresco y seco desde la parte inferior de la estructura.
Q2	Salida Digital	Extractor de Techo	Actuador que evacúa el calor y la humedad acumulada en el espacio de aire superior del silo.
Q3	Salida Digital	Alarma de Alerta	Señal de advertencia preventiva (lumínica/GPRS) que indica el inicio de anomalías en el proceso.
Q4	Salida Digital	Alarma de Emergencia	Señal crítica que indica riesgo inminente de daño en la carga, requiriendo intervención inmediata.

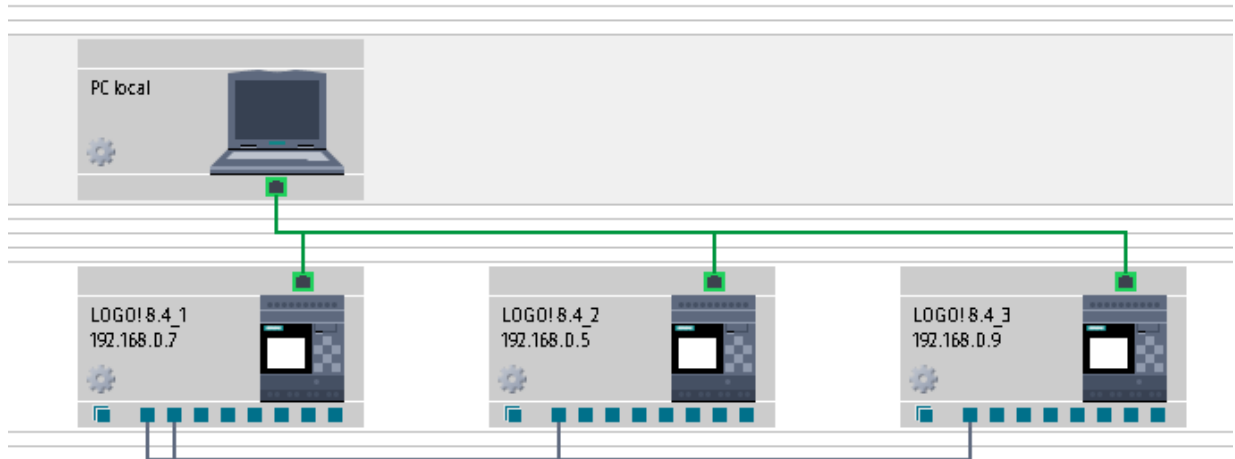
Figura 8. Diagrama de flujo y Secuencia Operativa



3.5 Programación en PLC con Logosoft

En esta programación se hizo uso de la conexión esclavo maestro entre 3 cpus LOGO, tal y como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Arquitectura de red en Logosoft



El tablero 4 y 6 se encargaron de la lectura y comunicación esclavo-maestro de las entradas analógicas desde la AI1 hasta la AI5, como se observa en la figura 10 y11.

Figura 10. Señales analógicas externas

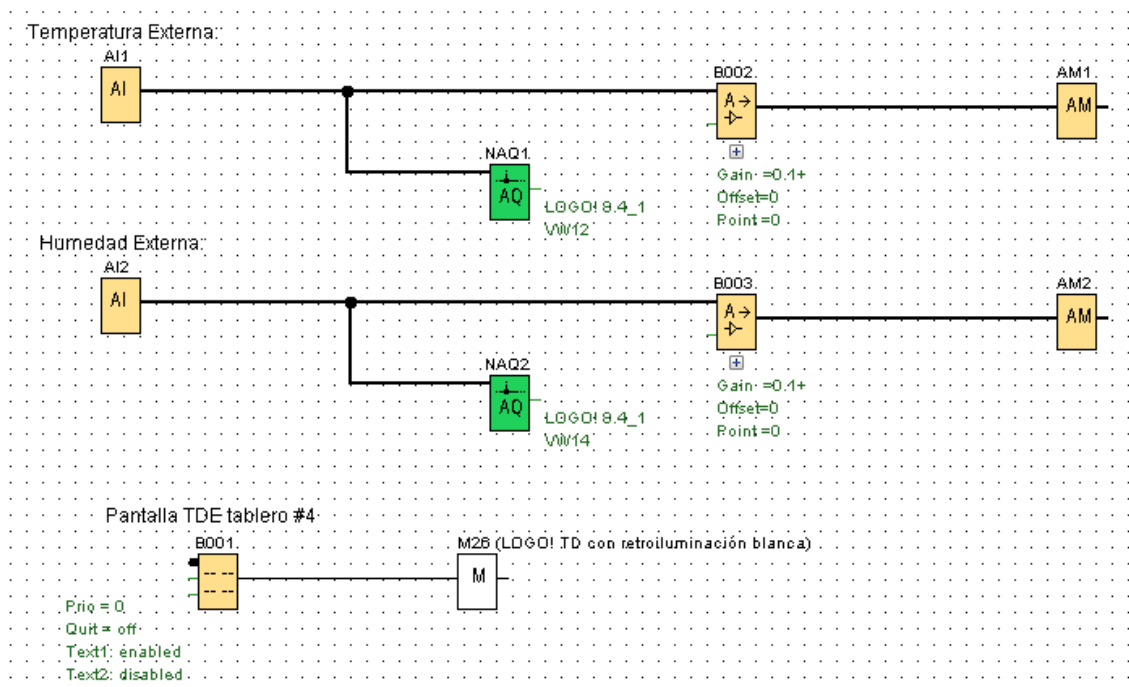
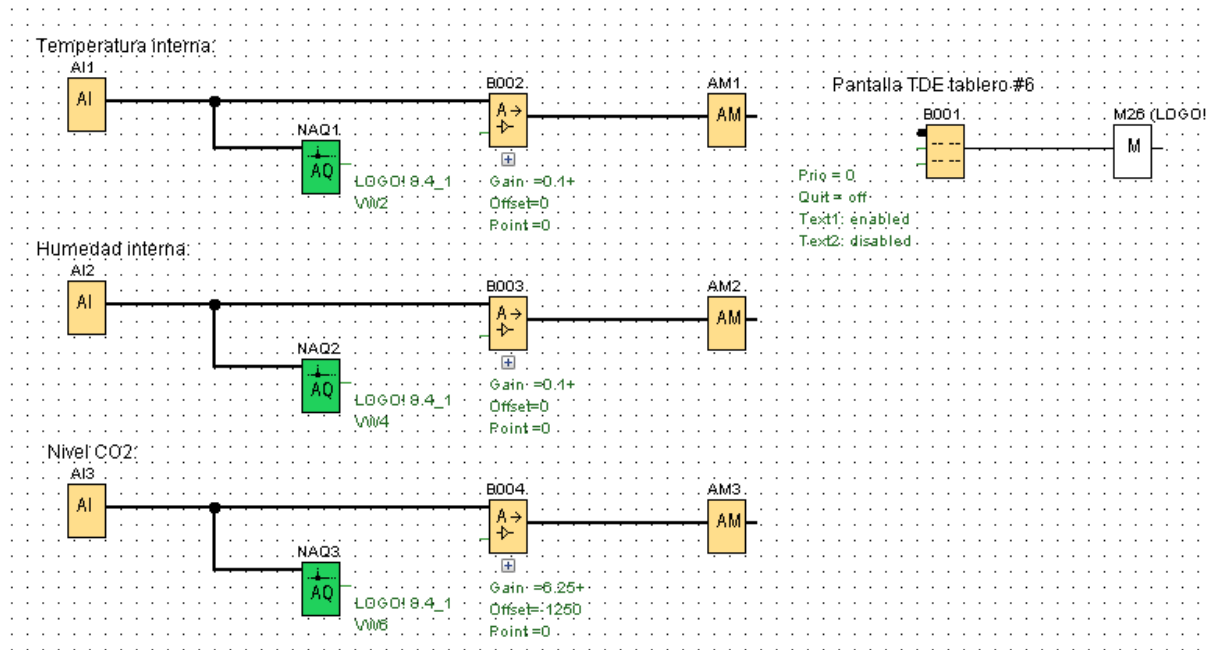
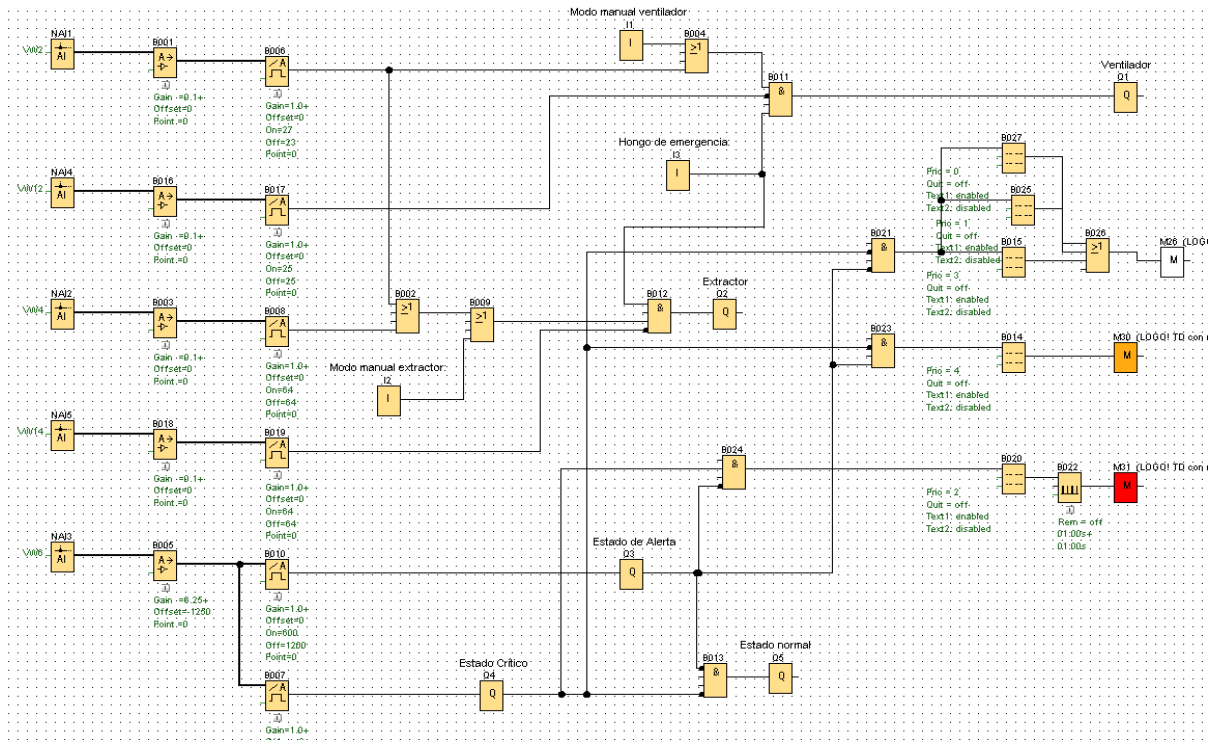


Figura 11. Señales analógicas internas



Finalmente tenemos el diagrama principal del tablero maestro, el cual contiene la lógica ya explicada en el diagrama de flujo anteriormente expuesto, se emplearon bloques de red, bloques digitales, bloques de funciones básicas (AND/OR), y bloques de funciones analógicas como el de valor umbral, en cada uno de los diagramas de cada tablero se usaron bloques para configurar la interfaz de la pantalla de las TDE de cada tablero, a continuación, la figura 12 muestra el diagrama principal.

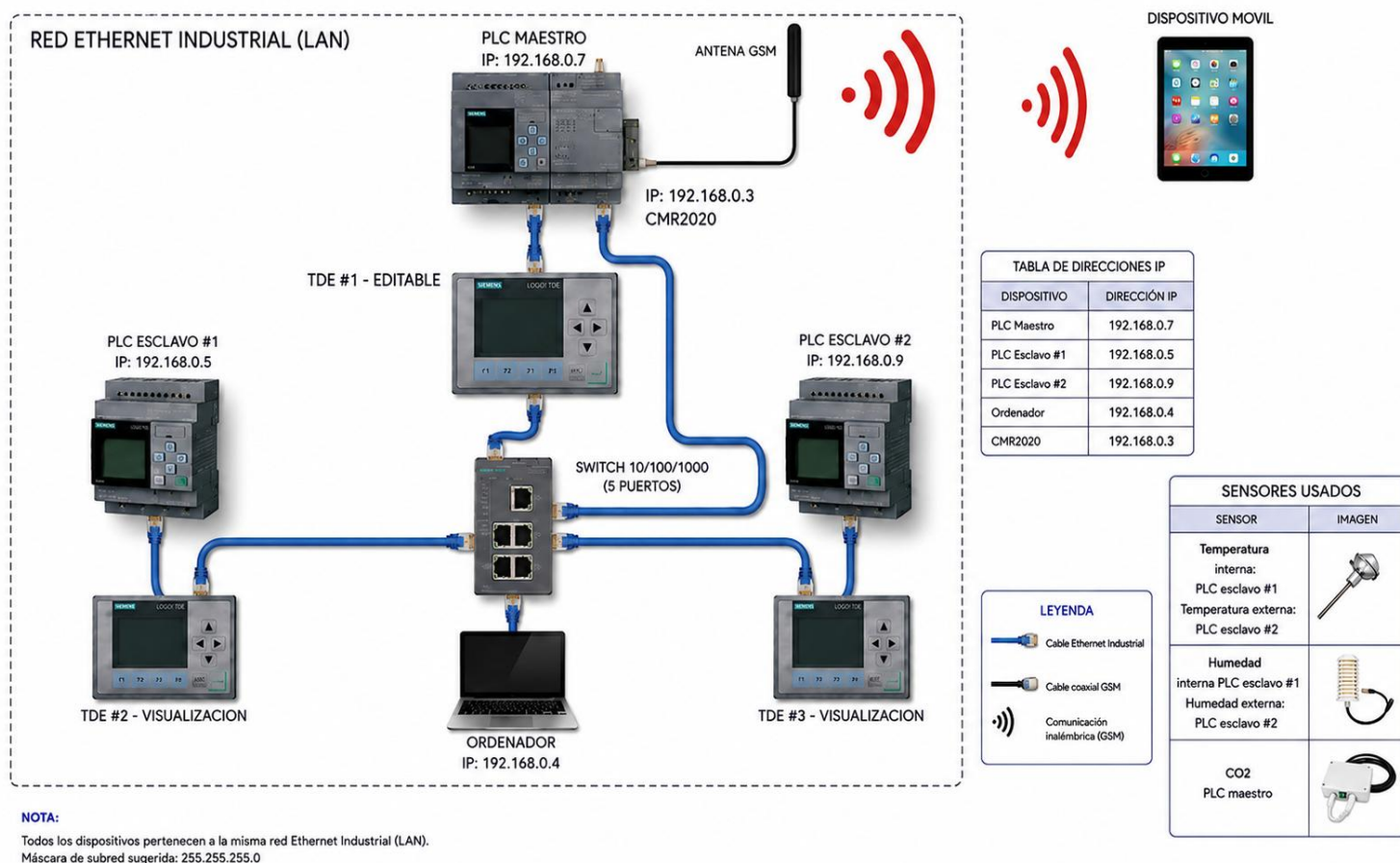
Figura 12. Programa general



3.6 Arquitectura de red de módulos LOGO!

Esta arquitectura presenta una topología sólida para la automatización distribuida del proyecto. Todo el sistema está interconectado mediante una red Ethernet Industrial (LAN), donde un Switch de 5 puertos actúa como el nodo central, permitiendo que todos los dispositivos, incluido el ordenador de ingeniería (192.168.0.4), intercambien datos de forma simultánea bajo una misma subred (192.168.0.x). El control se basa en una estructura de Maestro-Esclavo; el PLC Maestro (192.168.0.7) funciona como el "cerebro" principal que coordina a los PLCs Esclavos #1 (192.168.0.5) y #2 (192.168.0.9), los cuales actúan como extensiones físicas para el manejo distribuido de entradas y salidas en diferentes áreas de los silos. Para la supervisión local en planta, se utilizan tres pantallas Siemens TDE: la TDE #1 permite al operador editar parámetros críticos del sistema, mientras que las TDE #2 y #3 sirven exclusivamente para visualización y monitoreo general por parte del personal. Finalmente, la telemetría remota se logra mediante el módulo CMR2020 (192.168.0.3), que se conecta de forma inalámbrica a dispositivos móviles a través de una antena GSM, permitiendo el envío de alertas SMS y monitoreo inalámbrico fuera de la planta, en la figura 13 tenemos una representación gráfica del conexionado.

Figura 13. Arquitectura de red de módulos LOGO!



3.7 Arquitectura de implementación real en sistema de silos

3.7.1 Sistema de Termometría (Sensores de Temperatura)

El grano es un excelente aislante térmico. El calor generado por un foco de insectos o pudrición ("hot spot") avanza muy lentamente (pocos centímetros al día). Por lo tanto, no basta con medir la temperatura en un solo punto; se requiere una red tridimensional.

- Tipo de Sensor: Cables termométricos colgantes, equipados con múltiples nodos sensores (usualmente termorresistencias RTD PT100 o termopares digitales). Poseen un recubrimiento de poliuretano de alta resistencia para soportar la enorme fricción por tracción que ejerce el grano al ser descargado.
- Cantidad y Posicionamiento:

- Verticalmente: Los cables cuelgan desde las vigas del techo hasta el cono base. A lo largo de cada cable, debe haber un nodo de medición espaciado cada 1.2 a 1.5 metros.
- Horizontalmente: El radio de detección efectivo de un sensor en el grano es muy corto. Los estándares de ingeniería exigen que la distancia entre dos cables paralelos no supere los 6 a 7 metros.
- Interacción: El LOGO! (o PLC) interroga cada nodo. Si un solo nodo entre cientos registra una temperatura superior a los 18°C-20°C, el autómata debe interpretar que hay un foco de calentamiento localizado e iniciar la aeración. (Jian & Jayas, 2012)

En la figura 14 se evidencia el sensor de temperatura y humedad interna el cual consta con las dos funciones en el mismo sensor, su rango de temperatura es de -55 a 125 grados centígrados, consta con varios sensores integrados para obtener mediciones en varios puntos de los silos.

Figura 14. Sensor de temperatura y humedad interna usado en silos



Fuente: (Alibaba, 2026)

3.7.2 Sensores de Humedad Relativa (Ambiental y de Cúpula)

El sistema de automatización es "ciego" a menos que cuente con dos puntos de lectura de humedad estrictamente separados físicamente. Se utilizan para calcular el potencial de secado o rehumedecimiento del aire basado en las Leyes de Humedad de Equilibrio (EMC).

- Tipo de Sensor: Transmisores capacitivos de polímero con salida analógica (4-20 mA). En ambientes agroindustriales, requieren obligatoriamente filtros de bronce sinterizado o teflón para evitar que el polvo microscópico del grano ciegue el sensor.
- Posicionamiento:
 - Estación Meteorológica Exterior (AI4): No es un sensor redundante o aislado, sino el equipo integrado en el exterior de la planta. Se encarga de medir la capacidad del aire ambiente de absorber o donar agua. Se ubica obligatoriamente a la sombra y lejos de las salidas de ventilación para no falsear los datos con el aire exhausto del propio silo.
 - Sensor de Cúpula o Headspace (AI2): Instalado en la pared interna superior del silo, en el espacio de aire vacío entre el pico de la montaña de grano y el techo metálico.
- Interacción: El LOGO! utiliza estos dos puntos mediante una lógica de compuerta "AND". El aire exterior debe ser $< 70\%$ HR (Estación Meteorológica) para permitir el arranque de inyectores. Simultáneamente, vigila el Sensor de Cúpula; si la humedad interna supera el 65% HR, enciende los extractores (Q2) para evitar la condensación térmica ("lluvia de silo").

En la figura 15 se observa más a detalle el sensor de temperatura y humedad interna para silos con almacenamiento de granos el cual es flexible de acero inoxidable, y consta con un rango de medición de humedad de 0 a 100 RH

Figura 15. Sensor de temperatura y humedad interna usado en silos



Fuente: (Alibaba, 2026)

3.7.3 Sensores de Dióxido de Carbono (CO₂) para Detección Temprana

La implementación de sensores de CO₂ es la técnica más avanzada (Estado del Arte) en la automatización de silos, compensando la ineficiencia térmica del grano.

- Tipo de Sensor: Infrarrojo No Dispersivo (NDIR). Este formato óptico es el único capaz de discriminar las moléculas de CO₂ sin "envenenarse" por la presencia de polvo u otros gases industriales.
- Posicionamiento: Instalado exclusivamente en las válvulas de escape del techo o en el centro de la cúpula (Headspace).
- Física de Interacción: Cuando los insectos o los hongos respiran en el fondo o en el centro del silo (donde un cable térmico tardaría semanas en detectarlos), exhalan CO₂. Este gas, impulsado por las corrientes de aire caliente generadas metabólicamente (convección), sube rápidamente como una chimenea hacia la cúpula. El sensor de CO₂ detecta niveles superiores a 600-800 ppm semanas antes de que el sensor de temperatura registre la anomalía. (Olenloa, 2025)

En la figura 16 contamos con un sensor de CO₂ aplicado en silos el cual cuenta con el grado de protección IP65, es de 4-20mA, sus rangos de medición varían en función de la robustez del sensor.

Figura 16. Sensor de CO2 usado en silos



Fuente: (Hengko, 2026)

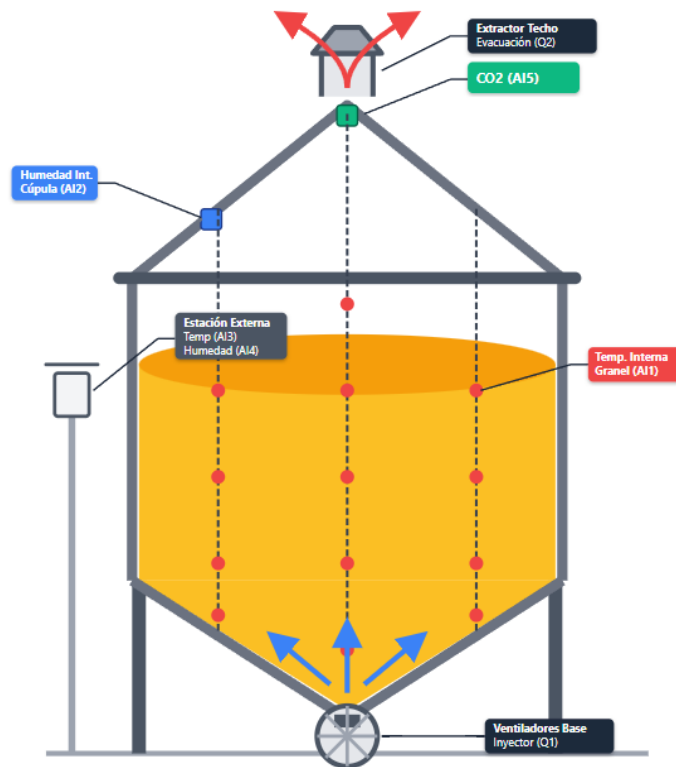
3.7.4 Arquitectura de Actuadores y Flujo de Aire (Inyectores y Extractores)

El sistema respiratorio del silo se divide físicamente en dos conjuntos de máquinas gobernadas por el PLC.

- Ventiladores Axiales o Centrífugos / Inyectores (Q1): Se instalan en la base exterior del silo. Empujan el aire a altísima presión a través de ductos perforados instalados en el piso. El aire fluye desde abajo hacia arriba a través de los miles de toneladas de grano.
- Extractores de Techo (Q2): Ubicados en el ápice (punta) del silo. Su función no es mover aire a través del grano, sino evacuar la cúpula. Generan presión negativa (succión) en la parte superior para sacar rápidamente al exterior el aire cálido y húmedo que los ventiladores de la base empujaron hacia arriba. Su interbloqueo programado en el PLC es la clave para prevenir la condensación y disipar el CO2.

En la figura 17, podemos ver un esquema de la ubicación y configuración de los distintos elementos y sensores que conforman el sistema en una aplicación real.

Figura 17. Descripción y ubicación de sensores en el sistema



3.8 Configuración del módulo de comunicación CMR2020

3.8.1 ¿Cómo ingresar al CMR2020?

Antes de ingresar a la configuración del dispositivo se recomienda realizar un PING al módulo CMR2020 desde el CMD para verificar una correcta conexión. Para ingresar en la configuración del dispositivo, en el URL del navegador se ingresa la dirección IP 192.168.0.3 que es la que viene por defecto en el módulo de comunicación CMR2020. Se desplegará la página de login idéntica a la de la figura 18 en la cual se ingresa el usuario y contraseña de fábrica que es “admin” para los dos campos a rellenar. Por ser la primera vez de registro pedirá el cambio de contraseña para seguridad de futuras configuraciones. Luego de ingresar la contraseña nueva, aparece la pantalla inicial de la configuración del dispositivo, la cual muestra un resumen general de las configuraciones y estado del CMR 2020.

Figura 18. Login CMR2020

SIEMENS LOGO! CMR

Log in

Log in

Enter your user name and your password. Then click the 'Login' button.

User name

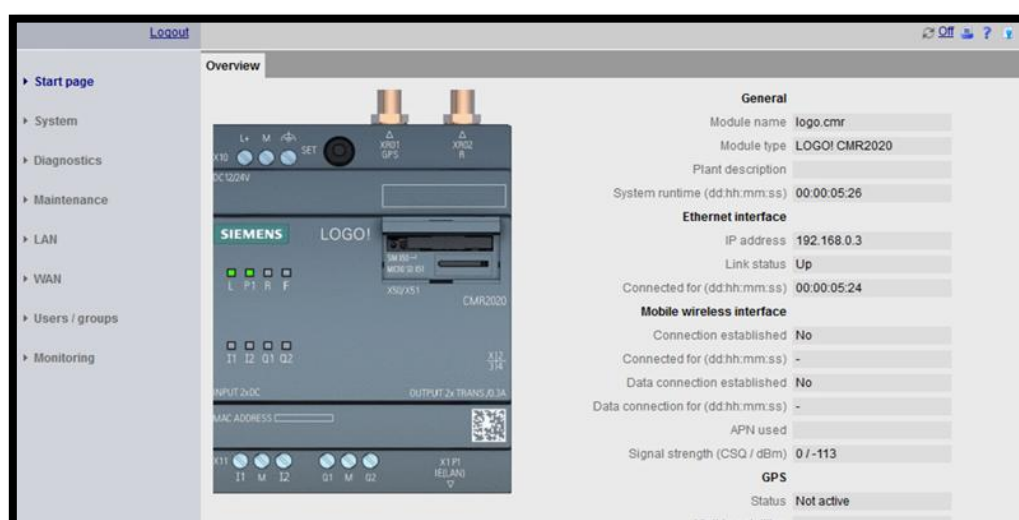
Password

Log in

3.8.2 Página de inicio general por default

En la figura 19 se observa la página de inicio por default con la información general del dispositivo como el nombre del módulo, la dirección IP, su estado de conexión, la intensidad de señal, el estado de conexión GPS entre otros.

Figura 19. Inicio por default



3.8.3 Página de LAN – configuración.

La figura 20 nos presenta la pestaña de LAN sección configuración nos permite acceder a la configuración de la interfaz ethernet donde se nos indica la dirección MAC, el estado de conexión, las propiedades de transmisión, el tiempo de conexión, la dirección IP de nuestro modulo CMR2020 para nuestro caso la configuramos como 192.168.0.3; la máscara de la subred que por default es 255.255.255.0; y la IP default del router usada como una IP pasarela o de referencia en este caso la definimos como 192.168.0.1

Figura 20. Configuración LAN

The screenshot displays the Siemens LOGO! CMR web interface for LAN configuration. The left sidebar contains a menu with options: Start page, System, Diagnostics, Maintenance, LAN (selected), WAN, Security, Users / groups, and Monitoring. The main content area is titled 'Configuration of the Ethernet interface' and lists the following settings:

Parameter	Value
MAC address	20:87:56:30:AD:14
Connection status	Connected
Transmission properties	100 Mbps, full duplex
Connected since (dd:hh:mm:ss)	00:00:14:28
IP address	192.168.0.3
Subnet mask	255.255.255.0
Default router	192.168.0.1

An 'Apply' button is located at the bottom right of the configuration area.

3.8.4 Página de WAN – configuración inalámbrica móvil.

La figura 21 muestra la sección de configuración inalámbrica móvil debemos activar la interfaz de redes inalámbricas, ya que, si esta opción no está activa no se realizará una conexión con el chip, por tanto, no se podrá enviar ni recibir SMS, en caso de tener el pin del chip se deberá ingresar, caso contrario dejar en blanco. Es importante activar las opciones de permitir itinerancia y de habilitar los servicios de redes inalámbricas móviles, esto se realiza con el fin de contar con todos los servicios del chip y garantizar una

conexión más eficiente, el APN de nuestro operador deberá ser consultado con el servicio al cliente de nuestra operadora o buscándolo en internet incluido el método de autenticación.

Figura 21. Configuración inalámbrica móvil

The screenshot displays the Siemens LOGO! CMR web interface. At the top, the 'SIEMENS' logo and 'LOGO! CMR' text are visible. Below this, a navigation bar shows 'User: admin' and a 'Log out' link. The main content area is titled 'WAN' and contains several tabs: 'Overview', 'Mobile wireless settings' (which is selected), 'Wireless cell', 'SMS', 'SMS alias', 'E-mail', and 'DynDNS'. On the left side, there is a sidebar menu with options like 'Start page', 'System', 'Diagnostics', 'Maintenance', 'LAN', 'WAN' (highlighted), 'Security', 'Users / groups', and 'Monitoring'. The 'Mobile wireless settings' page includes several configuration options: 'Enable mobile wireless interface' (checked), 'PIN of the SIM card' (with a confirmation message 'The PIN was accepted by the SIM card.'), 'Allow roaming' (checked), and 'Enable data service in the mobile wireless network' (checked). Below these, there are input fields for 'APN' (set to 'internet.tuenti.ec'), 'Authentication method' (set to 'CHAP'), 'Name', and 'Password'. An 'Apply' button is located at the bottom of the configuration section.

3.8.5 Página de usuarios / grupos – usuarios.

La siguiente figura 22 muestra la ventana de configuración del módulo de comunicación se debe registrar los números de celular de los usuarios específicos que deban tener permisos al telecontrol del proceso de gestión y control del almacenamiento de los granos. Podemos registrar máximo 20 números de teléfono. Se debe considerar que cuando vallamos a registrar el número celular se debe colocar el prefijo del país para que pueda garantizar una correcta conexión con el módulo y la antena en el caso de Ecuador este prefijo es +593. Pero como el chip es de Ecuador no es necesario en caso de registrar un numero internacional se debe colocar el prefijo telefónico.

Figura 22. Usuarios

SIEMENS LOGO! CMR

2026-07-09 18:12:00 English

User: admin Log out

Users / groups

Number of active sessions: 1

Update ?

User Recipient groups

NOTE:
Maximum number of users: 20

	Name	Description	User name	Phone number	E-mail address	Allow receipt of SMS messages	Phone number can be changed for this user by SMS message
1	Walter	admin1	user1	0995018934		Yes	Yes
2	Administrator		admin			Yes	Yes
3	Rafael	Tecnico	user2	0979309410		Yes	Yes
4	Ing. Milton	admin2	user3		0995783805	Yes	Yes

Add Delete

Change user

Name: Walter

Description: admin1

Phone number: 0995018934

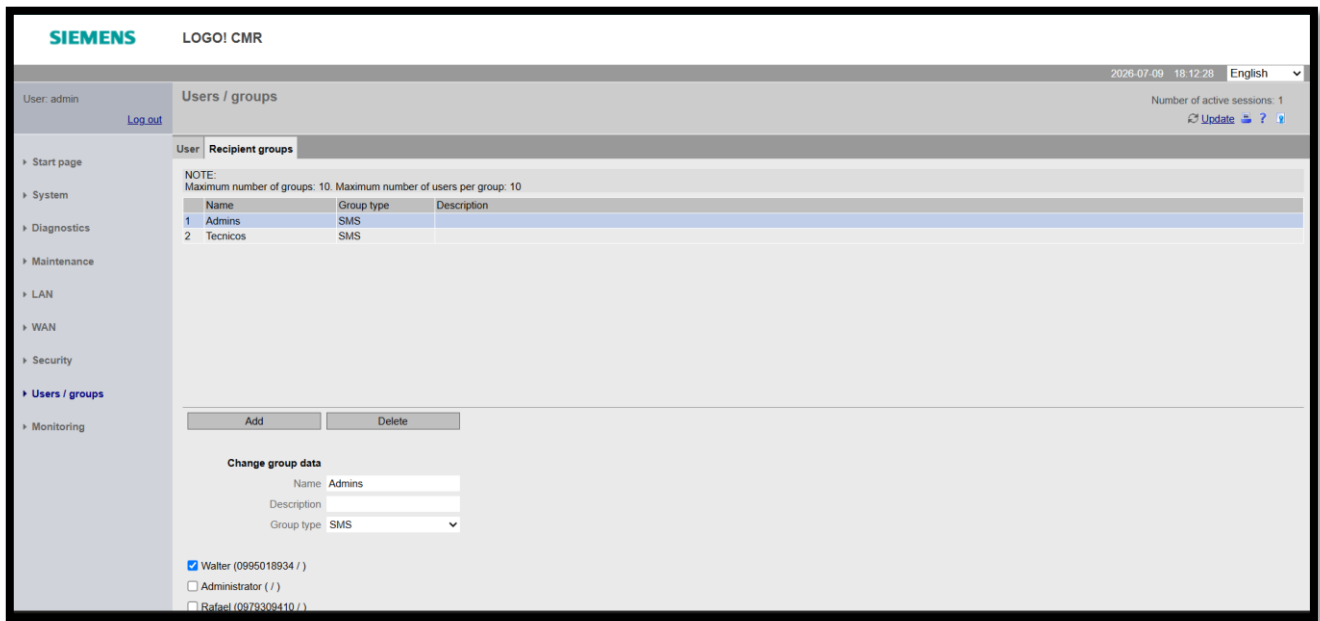
Allow receipt of SMS messages: Yes

Phone number can be changed for this user by SMS message: Yes

3.8.6 Página de usuarios / grupos – grupos recientes

Una vez que contamos con los usuarios iremos a crear los grupos de destino como se muestra en la figura 23. En la realización de estos grupos de destino se debe ingresar un nombre o usuario con su específica descripción y se seleccionan los usuarios que vayan a pertenecer a aquel grupo. Se tiene un límite a ingresar de máximo 10 grupos de usuarios. Esta función es de gran ayuda ya que podemos clasificar el envío de los SMS, es decir que algunas notificaciones deben ser enviadas solo a ciertos usuarios y no ser enviadas a todos los números ingresados, dándonos una mejor administración de nuestro sistema.

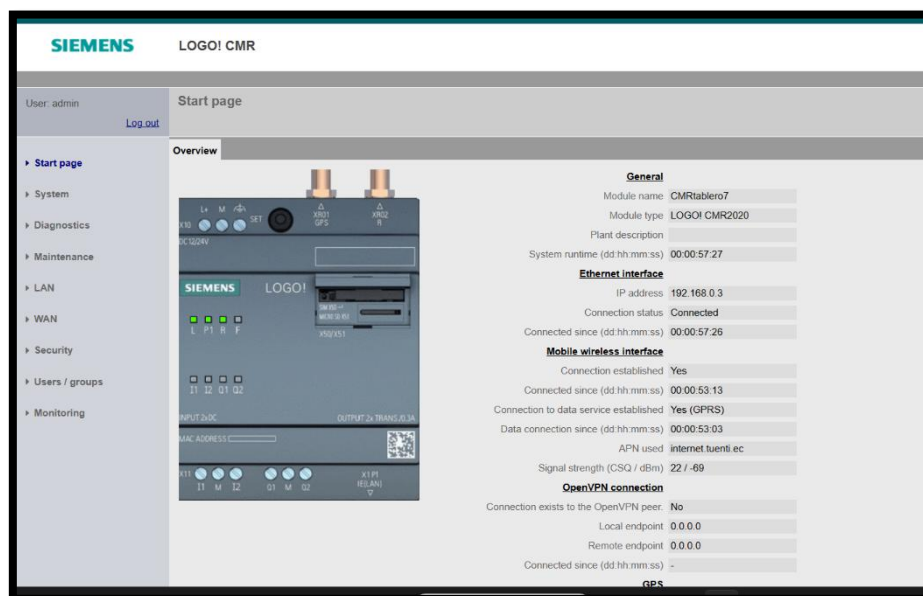
Figura 23. Grupos recientes



3.8.7 Página de inicio con nuestra red configurada

Finalmente podemos ver en la figura 24 nuevamente la página inicial del resumen del CMR2020, es evidenciable que ya contamos con los datos resumidos de los ajustes que se han realizado en las configuraciones anteriores.

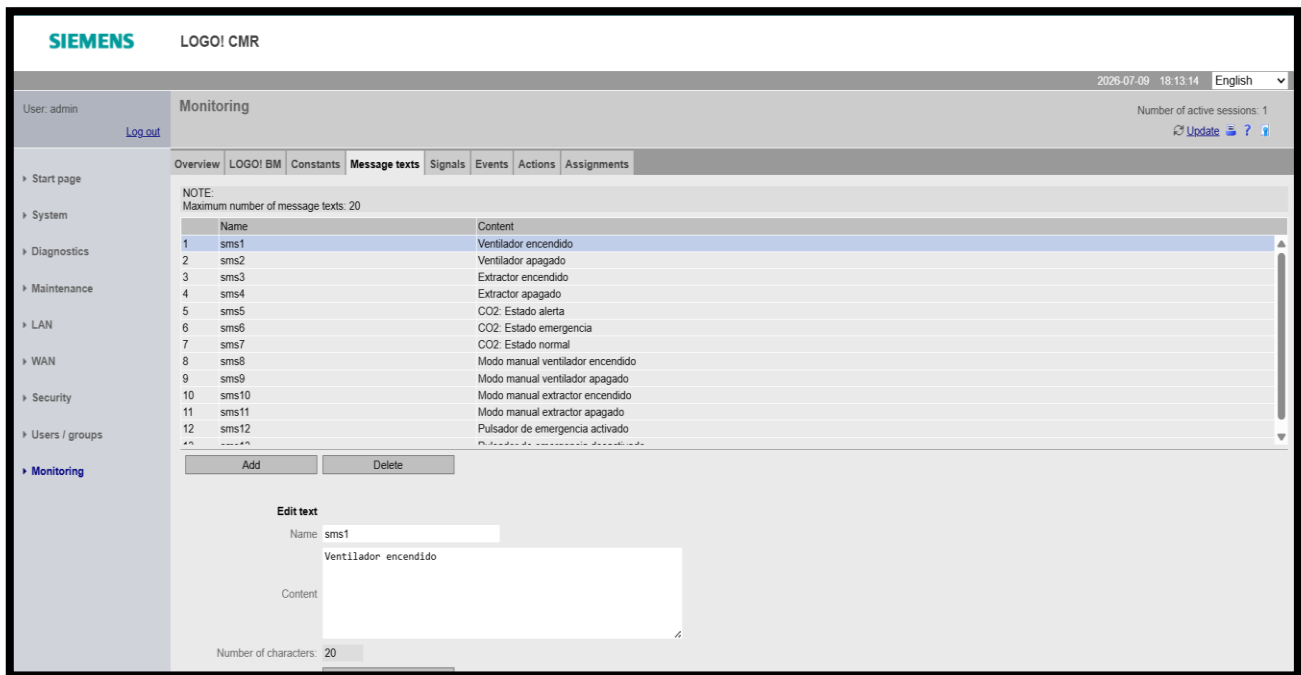
Figura 24. Interfaz principal configurada



3.8.8 Página de monitoreo – Mensajes de texto

En este segmento se crearán la descripción de los SMS que va a enviar el módulo de comunicación a los usuarios, es decir nuestro mensaje tendrá un nombre clave que lo identifique y dentro de este nombre estará el contenido del mensaje como se muestra en la figura 25

Figura 25. Mensajes de texto a enviarse



3.8.9 Página de monitoreo – Definición de señales

En la figura 26 se muestra la sección definición de señales donde se ingresan todos los parámetros que concuerdan entre el CMR2020 y el controlador. Debemos verificar que las direcciones propiamente designadas deben ser iguales que las se encuentran seleccionadas en la programación del PLC. Debemos definir el tipo de señal, el espacio de memoria y su fuente de señal ya sea el CMR2020 o el controlador.

Figura 26. Definición de señales

The screenshot displays the Siemens LOGO! CMR web interface. The top header shows the Siemens logo and 'LOGO! CMR'. Below this, a navigation bar includes 'User: admin' and a 'Log out' link. The main menu on the left lists various system components, with 'Monitoring' selected. The central area features a tabbed interface with 'Signals' active. A note indicates a maximum of 32 signals. A table lists 12 signals with their names and configurations. Below the table are 'Add' and 'Delete' buttons. A 'Change signal' form is visible at the bottom, showing fields for Name, Signal source, Signal type, I/O type, and Number.

	Name	Signal configuration
1	CMR_I1	LOGO! CMR / I/O / Input / 1
2	CMR_I2	LOGO! CMR / I/O / Input / 2
3	CMR_Q1	LOGO! CMR / I/O / Output / 1
4	CMR_Q2	LOGO! CMR / I/O / Output / 2
5	VM1	LOGO! BM / VM - Variable memory / WORD / 8
6	VM2	LOGO! BM / VM - Variable memory / WORD / 10
7	VM3	LOGO! BM / VM - Variable memory / WORD / 22
8	VM4	LOGO! BM / VM - Variable memory / WORD / 24
9	Q1	LOGO! BM / Q - Digital output / 1
10	Q2	LOGO! BM / Q - Digital output / 2
11	Q4	LOGO! BM / Q - Digital output / 4
12	Q5	LOGO! BM / Q - Digital output / 5

Change signal

Name: CMR_I1

Signal source: LOGO! CMR

Signal type: I/O

I/O type: Input

Number: 1

Apply

3.8.10 Página de monitoreo – eventos

La figura 27 muestra la pestaña que sirve para administrar los escenarios o eventos que sirven para hacer las acciones de control en el proceso control y gestión de los granos, significa que una de las señales especificadas cambia de estado o estará en un valor exacto, se realizará alguna acción predefinida que como puede ser el envío de un mensaje, encendido o apagado de un equipo, etc.

27. Eventos a realizar

The screenshot shows the Siemens LOGO! CMR web interface. The top bar includes the Siemens logo and 'LOGO! CMR'. Below this, a navigation bar shows 'User: admin' and a 'Log out' link. The main content area is titled 'Monitoring' and contains a tabbed interface with tabs for Overview, LOGO! BM, Constants, Message texts, Signals, Events, Actions, and Assignments. The 'Events' tab is active, displaying a table of events. A note indicates a maximum of 32 events. Below the table are 'Add' and 'Delete' buttons. At the bottom, a 'Change event' form allows editing an event's name, signal name, and event type, with an 'Apply' button.

	Name	Event configuration
1	E1	Q1 Changes to 1
2	E2	Q1 Changes to 0
3	E3	Q2 Changes to 1
4	E4	Q2 Changes to 0
5	E5	Q3 Changes to 1
6	E6	Q4 Changes to 1
7	E7	Q5 Changes to 1
8	E8	I1 Changes to 1
9	E9	I1 Changes to 0
10	E10	I2 Changes to 1
11	E11	I2 Changes to 0
12	E12	I3 Changes to 0

Change event

Name:

Signal name:

Event:

3.8.11 Página de monitoreo – acciones

A continuación, en la figura 28, destaca los ajustes de las acciones que realizara el CMR2020. Las acciones deben ir en base a las necesidades del proceso.

Las primordiales acciones que realizara el módulo de comunicación CMR 2020 son:

- Envío de mensajes cuando se activa y se desactiva el ventilador y el extractor.
- Envío de mensajes cuando los niveles de CO2 estén en estado normal, estado de alerta o estado de emergencia.
- Envío de mensajes cuando se activa y desactiva el ventilador y el extractor de forma manual.
- Envío de mensajes cuando se para todo el sistema mediante el paro de emergencia.

Figura 28. Acciones a realizar

The screenshot shows the Siemens LOGO! CMR web interface. The top bar includes the Siemens logo and the text "LOGO! CMR". Below this, a navigation bar shows "User: admin" and a "Log out" link. The main content area is titled "Monitoring" and contains a tabbed interface with tabs for Overview, LOGO! BM, Constants, Message texts, Signals, Events, Actions, and Assignments. The "Actions" tab is currently selected. A note indicates the maximum number of actions is 32. A table lists 12 actions (A1 to A12) with their corresponding action configurations. Below the table are "Add" and "Delete" buttons. A "Change action" form is also visible, allowing users to modify the configuration for a selected action (currently A1).

	Name	Action configuration
1	A1	Send SMS / Admins / sms1
2	A2	Send SMS / Admins / sms2
3	A3	Send SMS / Admins / sms3
4	A4	Send SMS / Admins / sms4
5	A5	Send SMS / Admins / sms5
6	A6	Send SMS / Admins / sms6
7	A7	Send SMS / Admins / sms7
8	A8	Send SMS / Admins / sms8
9	A9	Send SMS / Admins / sms9
10	A10	Send SMS / Admins / sms10
11	A11	Send SMS / Admins / sms11
12	A12	Send SMS / Admins / sms12

Change action

Name:

Target system:

Recipient group:

Message text:

3.8.12 Página de monitoreo – asignaciones

Finalmente, en la figura 29 se lleva a cabo el asignar los eventos a su correspondiente acción, por ejemplo, la figura indica que la asignación llamada “X1” relaciona al evento “X2” con la acción “X3”.

Figura 29. Asignaciones de eventos

SIEMENS LOGO! CMR

User: admin [Log out](#)

Monitoring

Overview LOGO! BM Constants Message texts Signals Events Actions **Assignments**

NOTE:
Maximum number of assignments: 32

	Active	Name	Event	Action
1	Yes	AS1	E1	A1
2	Yes	AS2	E2	A2
3	Yes	AS3	E3	A3
4	Yes	AS4	E4	A4
5	Yes	AS5	E5	A5
6	Yes	AS6	E6	A6
7	Yes	AS7	E7	A7
8	Yes	AS8	E8	A8
9	Yes	AS9	E9	A9
10	Yes	AS10	E10	A10
11	Yes	AS11	E11	A11
12	Yes	AS12	E12	A12

[Add](#) [Delete](#)

Change assignment

Name:

☒ Activate assignment

When:

Event:

Signal name:

Signal configuration:

Event configuration:

Then:

Action:

Action configuration:

3.9 Enlace entre el logo V8.4 y el CMR2020.

Finalizando los ajustes preliminares de la unidad de comunicación CMR2020 y el programa del PLC LOGO! V8.4, se debe efectuar la conexión de los dos dispositivos. Para esto se utiliza las herramientas que se encuentran en la ventana de “supervisión” del módulo de comunicación como se indica en la figura 30. En la cual ingresaremos la dirección IP 192.168.0.7 la cual corresponde a nuestro logo maestro.

Figura 30. Enlace entre Logo y el CMR2020

SIEMENS LOGO! CMR

User: admin [Log out](#)

Monitoring

Overview **LOGO! BM** Constants Message texts Signals Events Actions Assignments

☒ Active

IP address of LOGO! BM:

Update interval for process image:

[Apply](#)

[Ping to LOGO! BM](#)

Ping results:

CAPITULO IV

4 Presentación, procesamiento y análisis de los resultados

4.1 Resultados de la configuración en el CMR2020

Tabla 3. Resultado configuración CMR2020

SMS	Contenido	Tipo	Eventos	Acciones en usuarios (admins / técnicos)
1	Ventilador encendido	Output	Q1 – (1)	Send SMS 1 – admins / técnicos
2	Ventilador apagado	Output	Q1 – (0)	Send SMS 2 – admins / técnicos
3	Extractor encendido	Output	Q2 – (1)	Send SMS 3 – admins / técnicos
4	Extractor apagado	Output	Q2 – (0)	Send SMS 4 – admins / técnicos
5	CO2: Estado alerta	Variable memory - Output	Q3 – (1)	Send SMS 5 – admins / técnicos
6	CO2: Estado emergencia	Variable memory - Output	Q4 – (1)	Send SMS 6 – admins / técnicos
7	CO2: Estado normal	Variable memory - Output	Q5 – (1)	Send SMS 7 – admins / técnicos
8	Modo manual ventilador encendido	Input	I1 – (1)	Send SMS 8 – admins
9	Modo manual ventilador apagado	Input	I1 – (0)	Send SMS 9 – admins
10	Modo manual extractor encendido	Input	I2 – (1)	Send SMS 10 – admins
11	Modo manual extractor apagado	Input	I2 – (0)	Send SMS 11 – admins
12	Pulsador de emergencia desactivado	Input	I3 – (0)	Send SMS 12 – admins / técnicos
13	Pulsador de emergencia activado	Input	I3 – (1)	Send SMS 13 – admins / técnicos

En la tabla 3 se tiene un resumen general de todos los eventos, asignaciones, SMS a realizarse por cada acción realizada, en la cual se ha considerado a los admins que tengan acceso a todas las acciones realizadas en nuestro sistema, mientras que los técnicos están más limitados a ciertas acciones.

4.2 Comandos a utilizar

En la tabla 4 contamos con los comandos telefónicos en los cuales solo los “administradores” usuarios específicos configurados anteriormente en la figura 22 tengan la opción de poder leer los valores analógicos en tiempo real desde cualquier lugar.

Tabla 4. Comandos SMS para ejecutar funciones de lectura

Comando SMS	Función
LOGO?VM8,WORD	Lectura de la temperatura interna
LOGO?VM10,WORD	Lectura de la humedad interna
LOGO?VM22,WORD	Lectura de la temperatura externa
LOGO?VM24,WORD	Lectura de la humedad externa
LOGO?VM26,WORD	Lectura del nivel de CO2

4.3 Plan de SMS

En la tabla 5 se muestra los precios y planes de SMS por cada operador telefónico en Ecuador.

Tabla 5. Planes mensuales de SMS

Operador	Precio	SMS	Nivel de actividades	Costo anual
CNT	\$5	50	Bajo	\$60
Tuenti	\$9	50	Bajo	\$108
Movistar	\$16,09	200	Medio	\$193,08
Claro	\$22,59	1000	Alto	\$271,08

4.4 Resultados del sistema automatizado

En la figura 31 se aprecian los estados del ventilador y extractor, además de sus modos manuales, esto a través de la TDE editable, la cual está configurada para que podamos modificar los valores umbrales de temperatura y humedad dependiendo el tipo de grano.

Figura 31. TDE editable estados de entradas y salidas



En la figura 32 se puede evidenciar que cuando los niveles de CO2 están dentro del rango de estado de emergencia obtendremos un aviso en nuestra TDE de edición ya que se pondrá de color anaranjada y la salida Q3 relacionada a ese estado se activará.

Figura 32. Estado alerta



En la figura 33 contamos con el aviso en la TDE editable que indica que los niveles de CO2 están en modo emergencia, se iluminará de color rojo parpadeante, en la cual nos servirá para evitar cualquier acción con el silo ya que los gases de emisión de CO2 son altamente dañinos.

Figura 33. Niveles de CO2 emergencia



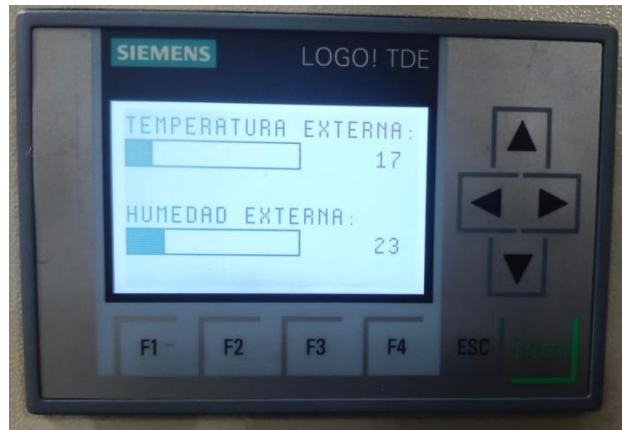
En la figura 34 contamos con la TDE #2 de visualización la cual nos da los valores de temperatura y humedad interna en tiempo real.

Figura 34. TDE #2 Temperatura y Humedad interna



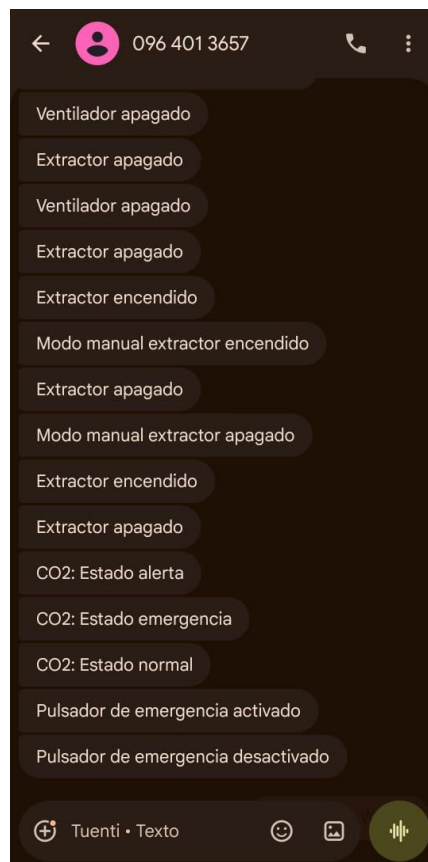
En la figura 35 contamos con la TDE #3 de visualización la cual nos da los valores de temperatura y humedad externa en tiempo real.

Figura 35. TDE #3 Temperatura y Humedad externa



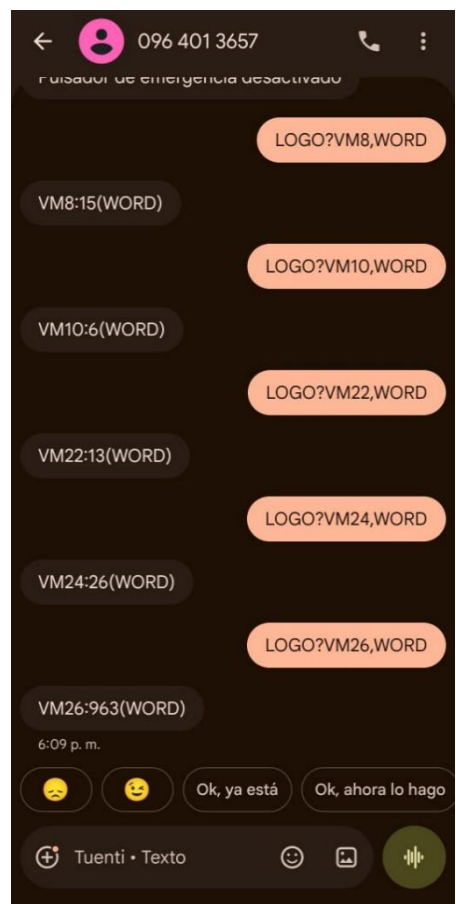
En la figura 36 contamos con los SMS recibidos por parte de un usuario Admin con las acciones realizadas en el sistema.

Figura 36. SMS recibidos



En la figura 37 contamos con la lectura de los valores analógicos de temperatura con los comandos utilizados en la tabla 4

Figura 37. SMS recibidos valores analógicos



4.5 Presupuesto

En la tabla 6 se presenta un presupuesto en base a los elementos principales para implementar este proyecto, cabe recalcar que ciertos elementos varían su costo según el sistema, es decir puede variar en función de la distancia entre equipos, dimensiones de silos, arquitectura de la red, entre otros.

Tabla 6. Presupuesto

Presupuesto de elementos principales en la implementación de este proyecto

Equipo	Modelo	Costo unitario	Cantidad	Costo total
LOGO!8	6ED1 052- 1FB00-0BA8	\$200	3	\$600
CMR2020	6GK7142- 7BX00-0AX0	\$810	1	\$810
Antena GPRS/LTE	6NH9860- 1AA00	\$115	1	\$115
Módulo de ampliación	6ED1055- 1MA00-0BA2	\$190	2	\$380
LOGO! AM2 visualizador de texto LOGO! TD	6ED1 055 4MH08 0BA1	\$273	3	\$819
Switch Industrial Ethernet no gestionado SCALANCE XB005	6GK5005- 0BA00-1AB2	\$125	1	\$125
Selector de dos posiciones	1NA XA2ED21	\$7.66	2	\$15.32
Paro de emergencia tipo hongo	STR- STPB2BS542	\$2.90	1	\$2.90
Luz piloto roja 220VAC	AD210- R/220	\$1,03	1	\$1.03
Luz piloto amarilla 220VAC	LD11s- 222M5 220V	\$1.27	1	\$1.27

Luz piloto verde 220VAC	LD11s-222M3 220V	\$1.27	2	\$2.54
Gabinete Metálico 80x60x30 cm	OB-GAB806030	\$137.72	3	\$413.16
Cable de red UTP CAT 5E	No refiere	\$0.15 por metro	varia	varia
Sensor de temperatura y humedad interna	No refiere	\$5 por metro	varia	varia
Sensor de CO2	No refiere	\$800	1	\$800
Sensor de temperatura y humedad externa	No refiere	\$10	varia	varia
Plan SMS	No refiere	\$22,59/mes	12	\$300
Costo total aproximado:				\$4385

4.6 Análisis financiero del tiempo de retorno a la inversión

Supuestos:

- Costo del sistema automatizado aproximadamente: \$4.385
- Costo del servicio de SMS aproximadamente: \$300/año
- Salario básico unificado (referencial): \$470/mes
- Personal requerido para monitoreo manual: 1 técnico
- Jornada de monitoreo: inspecciones diarias de temperatura, humedad y estado del silo.

En la tabla 7 podemos contar con los costos aproximados de un sistema manual de almacenamiento de granos en silos.

Tabla 7. Costo del sistema manual

Concepto	Valor
Salario mensual de un técnico	\$470
Salario anual	\$5640
Transporte e inspecciones (aprox)	\$360
Costo anual total	\$6000

En la tabla 8 podemos contar con los costos aproximados del sistema automatizado de gestión y control de almacenamiento de granos en silos.

Tabla 8. Costo del sistema automatizado

Concepto	Valor
Inversión inicial	\$4385
Servicio de SMS (anual)	\$300
Mantenimiento preventivo anual	\$200
Costo operativo anual	\$500

Ahorro anual obtenido.

- Costo del sistema manual: \$6000/año
- Costo operativo del sistema automatizado: \$500/año

$$\$6000 - \$500 = \$5500$$

Tiempo de retorno de la inversión (Payback)

$$Payback = \frac{Inversion\ inicial}{Ahorro\ anual}$$

$$Payback = \frac{\$4385}{\$5500} = 0,79$$

$$0,79 \times 12 = 9,4\ meses$$

En la tabla 9 se resume las inversiones, ahorros y tiempo de recuperación.

Tabla 9. Resultado ROI

Inversión anual	\$4000 - \$5000
Ahorro anual	\$5500
Tiempo de recuperación	9 meses

4.7 Discusión de los resultados

El presente sistema automatizado requiere una inversión inicial base de aproximadamente \$4.385, puede variar en base a la robustez del sistema a automatizar, pero se cuenta con un valor aproximado base superior a la de un sistema de supervisión manual evidentemente. Sin embargo, al eliminar la necesidad de contar con un técnico dedicado exclusivamente al monitoreo periódico y constante del silo, los costos de operación se reducen considerablemente. Obteniendo un costo al año de \$300 por un plan de mensajería SMS y \$200 asignados al mantenimiento preventivo, los gastos de operación al año del sistema automatizado aumentan aproximadamente a \$500, en comparación a un estimado de \$6.000 del sistema manual. Indicándonos un ahorro próximo a \$5.500 anualmente, permitiéndonos recuperar la inversión en aproximadamente 9 meses.

En un control manual, la inversión inicial se considera baja, pero los costos de operación son elevados por el motivo de la vigilancia constante del personal técnico y en consecuencias de tener un mayor riesgo de pérdidas por una identificación retrasada de escenarios no permitidos dentro del silo. Por otro lado, un sistema automatizado con PLCs, sensores de humedad, temperatura y CO₂, comunicación GPRS vía SMS y supervisión no local disminuye de forma significativa estas pérdidas, aumenta la calidad del grano almacenado y reduce la obligación de inspecciones presenciales.

El utilizar el CMR2020, adicional con una arquitectura de red Ethernet nos permite un resultado robusto, confiable y viable para la automatización del almacenamiento de granos. Esta combinación facilita el monitoreo remoto, reduce los tiempos de respuesta ante condiciones críticas y mejora la gestión operativa de múltiples silos. Esta arquitectura, además, deja preparada la infraestructura para futuras ampliaciones e integración con sistemas SCADA o plataformas de gestión agrícola, lo que incrementa su valor tecnológico y operativo a largo plazo.

Desde el punto de vista técnico y operativo, la selección del plan de Claro garantiza una mayor disponibilidad del servicio de comunicación, aspecto fundamental para un sistema de automatización cuya función principal es informar oportunamente sobre condiciones críticas que puedan comprometer la calidad del grano almacenado. La disponibilidad de un elevado número de SMS proporciona además una mayor flexibilidad

para enviar alarmas, confirmaciones de operación, notificaciones de mantenimiento y mensajes a diferentes responsables sin afectar la continuidad del servicio.

CAPITULO V

5 Conclusiones

Se diseñó satisfactoriamente un sistema automatizado de gestión y control para el almacenamiento de granos mediante la integración de controladores lógicos programables (PLC Siemens LOGO!), sensores de temperatura, humedad y CO₂, pantallas TDE y un módulo de comunicación inalámbrica CMR2020. La solución permite supervisar de forma continua las variables críticas del proceso y ejecutar acciones automáticas para preservar las condiciones óptimas de almacenamiento, cumpliendo con el objetivo general de la investigación.

El análisis de las variables críticas permitió establecer una lógica de control basada en los límites de temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂, posibilitando la activación automática de ventiladores, extractores y alarmas cuando las condiciones representan un riesgo para la conservación del grano. La presente táctica nos permite reducir las maniobras manuales y humanas, aminorando la contingencia de pérdidas postcosecha causadas por factores como humedad, focos térmicos o efectos biológicos.

El ejecutar la comunicación GPRS mediante el módulo Siemens CMR2020 evidencio ser una estrategia verídica para el control remoto del sistema, propiciando el envío SMS de mensajes alerta y la consulta de estado de variables analógicas en tiempo real desde cualquier lugar con cobertura celular. Estas propiedades aumentan la suficiencia de respuesta del personal operativo y perfeccionamiento de las inspecciones de instalaciones ubicadas en zonas distantes.

La evaluación económica demostró que, aunque la inversión inicial aproximada del sistema automatizado es de USD 4.385, los costos operativos anuales disminuyen considerablemente con respecto al monitoreo manual. El ahorro estimado de USD 5.500 anual nos permite recuperar la inversión realizada en aproximadamente 9 meses, evidenciando que la propuesta es confiable y económicamente viable para una futura implementación en instalaciones agroindustriales de mediana y gran escala.

5.1 Recomendaciones

- Implementar el sistema en una planta menor o en un silo de almacenamiento real para validar el comportamiento de la lógica de control durante diferentes condiciones climáticas y distintos tipos de grano, demostrando la optimización de los parámetros de operación antes de una implementación de gran escala.
- Realizar mantenimientos y calibraciones periódicas de los sensores de temperatura, humedad y CO₂, además de ejecutar un plan de mantenimiento preventivo de los PLC, actuadores y equipos de comunicación, con el fin de garantizar la confiabilidad de las mediciones y la continuidad operativa del sistema.
- Implementar una plataforma SCADA o una aplicación web que permita almacenar historiales de medición en una base de datos, generar tendencias, emitir reportes automáticos y facilitar el análisis predictivo del comportamiento del almacenamiento de granos.
- Considerar desarrollar investigaciones futuras orientadas a incorporar algoritmos de inteligencia artificial o aprendizaje automático que permitan predecir condiciones de deterioro del grano, optimizar el funcionamiento de los sistemas de ventilación y reducir aún más el consumo energético y las pérdidas postcosecha incluyendo eficiencia energética.

6 Cronograma de actividades: primera fase

Mes Actividades	Año 2025 - 2026																			
	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Declaración sobre la modalidad de titulación.																				
Notificación de designación a los docentes tutores.																				
Determinación de tema y horarios por parte del tutor.																				
Elaboración del tema tentativo y variables dependientes e independientes del anteproyecto.																				
Elaboración del anteproyecto (Introducción).																				
Elaboración del anteproyecto (Antecedentes, Justificación).																				
Elaboración del anteproyecto (Marco teórico).																				
Revisión y corrección de anteproyecto con el tutor.																				
Entrega de anteproyecto a la comisión académica.																				
Revisión del par académico y correcciones.																				
Aprobación de notificación del anteproyecto de titulación.																				

6.1 Cronograma de actividades: segunda fase

Mes Actividades	Año 2026																			
	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Selección de tipo de metodología																				
Ejecución de resultados																				
Revisión y sugerencias de fase de resultados																				
Mejoramiento de resultados																				
Revisión y aprobación de fase de resultados																				
Análisis de resultados																				
Elaboración de dedicatoria y agradecimientos																				
Formulación de conclusiones y recomendaciones																				
Revisión de proyecto final																				
Aprobación de proyecto final																				
Entrega del proyecto final																				

7 Referencias

- AHDB. (2026). *Grain storage moisture targets for cereals and oilseed rape*. Obtenido de <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/grain-storage-moisture-targets-for-cereals-and-oilseed-rape>
- FAO. (1993). IV. *Almacenamiento de granos en propiedades rurales*. Obtenido de Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural: <https://www.fao.org/4/x5027s/x5027s0d.htm>
- FAO. (1993). VI. *Aireacion de los granos*. Obtenido de Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural: <https://www.fao.org/4/x5027s/x5027S0k.htm>
- FAO. (2010). *Grain crop drying, handling and storage*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i2433e/i2433e10.pdf>
- Jenny, G., Christel, C., & Ulf, S. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i2697s/i2697s.pdf>
- Jian, F., & Jayas, D. S. (2012). Temperature Monitoring. *Stored Product Protection*, 271-281. Obtenido de https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/stored-product-protection_S156.pdf
- Lady, B., Lady, C., Viviana, C., Cristian, I., Melanie, L., & Mayra, N. (2020). Análisis de la logística de almacenamiento e inventarios en la empresa AgripacS. A de la parroquia Julio Andrade cantón Tulcán, provincia del Carchi. Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-politecnica-estatal-del-carchi/logistica-de-distribucion/proyecto-integrador-agripac/9038344>
- Maldonado Benalcázar, D. G. (2013). Monitoreo y adquisición de datos de una estación meteorológica a través de una red GPRS. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2193/1/09655.pdf>
- Maldonado Reyes, C. J. (2017). Estudio y diseño de la instalación de un sistema de monitoreo y control, a través de una red de telecontrol, para la línea de producción de balanceado extrusado de la empresa Gisis, en el cantón Durán. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7683/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-181.pdf>

- Mexico, G. d. (2017). *gob.mx*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-cultivo-de-granos-basicos-en-alimentacion-agricultura-y-comercio>
- Nath, B., Chen, G., O'Sullivan, C. M., & Zare, D. (2024). Research and Technologies to Reduce Grain Postharvest Losses: A Review. *Foods*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/12/1875>
- Olenloa, A. E. (Mayo de 2025). ON STORED GRAIN MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEMS. Obtenido de <https://hammer.purdue.edu/ndownloader/files/54112835>
- Siemens. (2017). *LOGO! - Industrial Ethernet LOGO! CMR2020, LOGO! CMR2040*. Obtenido de Instrucciones de servicio: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/418/109477418/att_936882/v1/BA_LOGO-CMR2020-CMR2040_78.pdf
- Siemens. (2022). *Manual de LOGO!* Obtenido de https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109741041/logo_system_manual_es-ES_es-ES.pdf?download=true
- Siemens. (2025). *siemens.com*. Obtenido de <https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/controladores-simatic/logo.html>

Anexos

Programa general en LogoSoft:

