



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA PLANTA DE
ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES”**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

ELABORADO POR:

YEFRY GERARDO JIMÉNEZ SEGURA

TUTOR: DENNIS SÁNCHEZ FALLAS

SEDE ARANJUEZ

AGOSTO, 2023

Dedicatoria

Primero a Dios, por estar siempre presente en todas las situaciones vividas en este proceso de estudio y formación.

A mi madre, que siempre ha estado como apoyo, donde siempre estuvo incansable con una sonrisa esperándome en las noches largas de estudio.

A mi padre, que me ha enseñado a luchar por lo que quiero y a dar pasos poco a poco con el fin de lograr mis objetivos.

A mi hermano, que siempre ha sido un compañero fiel para colaborarme en lo que haya necesitado en todo mi proceso de estudio.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por darme la capacidad de llegar hasta este momento de mi carrera, como una superación para mi vida personal.

A mis padres y hermano, que me han estado acompañando en todo este proceso y me han soportado para no desistir en el intento, con palabras de aliento.

A mi novia, a pesar de no estar en todo este tiempo, llegó en el momento más importante para apoyarme y tener la paciencia necesaria para lograr el objetivo plasmado.

A doña Liana, que ha estado siempre en mi desarrollo profesional como apoyo desde hace muchos años.

A don Luis y todos mis compañeros de la empresa ALPHA TECH, que han sido pacientes y me han colaborado con tiempo o temas para seguir creciendo profesionalmente.

A mi profesor tutor, Dennis, que ha sido un apoyo incansable y con una disposición de ayuda admirable con la conclusión de este proyecto.

A todos los demás profesores que han estado en la carrera, porque de cada uno he quedado sumamente agradecido por sus enseñanzas y consejos en el día a día de la carrera.

A mis compañeros que han sido parte de toda la superación de estudio, ya que nunca caminamos solos para lograr nuestros objetivos.

Resumen ejecutivo

En este trabajo final de graduación se desarrolla una propuesta de automatización de una planta de alimentos balanceados para animales, específicamente en el área de recibo de materia prima, donde se busca que los equipos que se operan actualmente de forma manual con intervención directamente por varios operarios, poder centralizarlo en un solo operario desde un sistema de control enlazado con el controlador lógico programable (PLC) con el sistema de adquisición de datos (SCADA) instalados en la planta.

Esta propuesta tiene como fundamento los puntos de mejora continua de la producción de la planta, como es la eficiencia y la calidad del producto, donde se busca evitar que exista contaminación de productos en los silos de almacenamiento que vaya a repercutir en problemas con la dosificación de los materiales para elaborar el producto de venta al consumidor.

Lo que se pretende es que se vean reducidos los tiempos muertos en el área de recibo y que los equipos cuenten con los dispositivos de seguridad de necesarios para poder evitar atascamientos y problemas con el transporte del producto hasta los silos de almacenamiento o de dosificación, estos equipos son sensores de diferentes tipos, por ejemplo: finales de carrera, sensores de velocidad de ejes, sensor de alineamiento de banda, entre otros.

De acuerdo con el diseño actual de la planta se debe garantizar que el sistema pueda enviar producto a cualquiera de los 12 silos de almacenamiento y dosificación, donde se debe tener la seguridad de que se encuentre completamente vacío para poder ingresar otra materia prima, o la confirmación de que el material que se está transportando coincida con el que se encuentra en el almacenamiento seleccionado.

Lo descrito en el párrafo anterior se puede realizar ya que la planta cuenta con una codificación de cada uno de los materiales que son usados para la preparación de sus productos, entonces en el controlador lógico programable debe existir una parametrización donde se tenga la memoria de los materiales que tiene cada uno de los silos.

Todo este proyecto se dimensionará en costos, así como en la garantía de que los equipos que se encuentran actualmente a nivel eléctrico puedan cumplir con lo esperado por el cliente para poder tener control y trazabilidad del área de recibo, todo esto con el análisis de las señales

disponibles en el PLC y los arranques de motores en el centro de control de motores ya instalado en la planta.

Para finalizar el proyecto se hará el análisis financiero para determinar el punto de vista económico, donde se pueda implementar el sistema en la planta de alimentos balanceados.

CONTENIDO GENERAL

Resumen ejecutivo.....	4
CONTENIDO GENERAL.....	1
CONTENIDO DE FIGURAS.....	3
CONTENIDO DE TABLAS.....	4
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	5
Planteamiento del problema.....	5
Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Justificación.....	6
Antecedentes.....	6
Internacionales.....	6
Nacionales.....	12
Proyecciones.....	17
Limitaciones.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	18
Plantas de alimentos balanceados para animales.....	18
Recibo de materias primas y molienda.....	18
Dosificación automática y mezcla.....	19
Empaque y despacho a granel.....	19
ELEMENTOS DEL ÁREA DE RECIBO.....	19
Elevadores.....	19
Transportadores de tornillo sin fin.....	22
SCADA.....	23
Sistemas de visualización.....	23
Principios fundamentales de los SCADA modernos.....	24
PLC.....	24
Arquitectura del PLC.....	25
Unidad de entrada/salida.....	25
Tiempo de respuesta.....	25
Modo de Operación.....	26

Concepto de control	26
Lenguajes de programación	26
Tipos de datos	27
COMUNICACIONES INDUSTRIALES	28
Ventajas de las comunicaciones en la industria	29
Tipos de comunicaciones industriales	29
BECKHOFF	33
CX5130	33
TwinCAT	33
SENSORES	34
Clasificación	35
Características	38
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	40
Enforque de investigación.	40
CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL DISEÑO	43
Planteo del diseño	43
Diseño de sistema de control	48
Análisis financiero	75
Análisis de resultados	80
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
Conclusiones.....	82
Recomendaciones	83
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.....	84
CAPÍTULO VII ANEXOS	85

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Elevador vertical de cangilones	20
Figura 2 Descarga de un elevador de cangilones: a) por lanzamiento; b) por derrame; c) por derrame a cangilones de escama.	22
Figura 3 Transportador de tornillo sin fin.....	23
Figura 4 Clasificación atendiendo a su funcionamiento	36
Figura 5 Clasificación atendiendo a la señal que proporcionan	36
Figura 6 Clasificación atendiendo a la naturaleza de funcionamiento	37
Figura 7 Sensores atendiendo a los elementos de fabricación.....	38
Figura 8 Diagrama de área de recibo Fuente: ALPHA TECH.....	44
Figura 9 Sistema de cambiavías en 3 posiciones Fuente: ALPHA TECH	45
Figura 10 Diagrama de conexión de equipos de campo Fuente: Propia	47
Figura 11 Diagrama de secuencias Fuente: Propia.....	52
Figura 12 Secuencia de arranque N°1 Fuente: Propia	53
Figura 13 Secuencia de paro N°1 Fuente: Propia	54
Figura 14 Secuencia de arranque N°2 Fuente: Propia	55
Figura 15 Secuencia de paro N°2 Fuente: Propia	56
Figura 16 Secuencia de arranque N°3 Fuente: Propia	57
Figura 17 Secuencia de paro N°3 Fuente: Propia	58
Figura 18 Secuencia de arranque N°4 Fuente: Propia	59
Figura 19 Secuencia de arranque N°4 Fuente: Propia	60
Figura 20 Diagrama de red Ethercat Fuente: ALPHA TECH	64
Figura 21 Tolvas seleccionadas como origen y destino Fuente: Propia	69
Figura 22 Menú general de funciones de equipos Fuente: Propia.....	70
Figura 23 Menú de arranque manual de equipos Fuente: Propia.....	70
Figura 24 Menú de configuración de equipos Fuente: Propia	71
Figura 25 Manejo de señales y estados Fuente: Propia	71

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Principales tipos de datos de la norma IEC 1131-3.....	28
Tabla 2 Funciones de lectura Fuente: Schneider Electric	30
Tabla 3 Funciones de escritura Fuente: Schneider Electric.....	31
Tabla 4 Funciones de diagnóstico Fuente: Schneider Electric.....	31
Tabla 5 Aplicaciones para sensores	39
Tabla 6 Tabla Matriz de conceptualización, investigación de enfoque cuantitativo Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 7 Nomenclatura de válvulas Fuente: Propia.....	46
Tabla 8 Descripción de posiciones de cambiavías Fuente: ALPHA TECH.....	46
Tabla 9 Resumen de orígenes Fuente: Propia	49
Tabla 10 Resumen de destinos Fuente: Propia.....	50
Tabla 11 Nomenclatura de elementos de área de recibo Fuente: Propia.....	51
Tabla 12 Entradas a sistema de control Fuente Propia	63
Tabla 13 Salidas del sistema de control Fuente Propia	63
Tabla 14 Descripción de sensores para elevadores Fuente: 4B Elevators	66
Tabla 15 Sensores para transportadores Fuente: 4B Elevators	67
Tabla 16 Alarmas registro 39 Fuente: 4B Elevators	68
Tabla 17 Propuesta de botones de origen y destino Fuente: Propia.....	69
Tabla 18 Funcionamiento de cada botón del menú general Fuente: Propia	70
Tabla 19 Estado y animación de los elementos Fuente: Propia	73
Tabla 20 Costos iniciales Fuente: Propia	76

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Es posible diseñar un sistema de automatización del área de recibo de una planta de alimentos balanceados para animales conectando al PLC los equipos actuales, para evitar errores humanos y mejorar la eficiencia, seguridad y calidad del proceso?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar la automatización del área de recibo de materia prima para el análisis de eficiencia, seguridad y calidad para las operaciones de la empresa.

Objetivos específicos

1. Analizar la eficiencia en las operaciones en el transporte de materia prima de la planta de alimentos balanceados.
2. Plantear los enlaces entre los equipos de proceso con el PLC y sistema de adquisición de datos.
3. Recomendar el uso de dispositivos críticos de seguridad en el manejo de los diferentes equipos en el área de recibo
4. Plantear el enlace de la operación humano-máquina a través de la interfaz usada actualmente en la planta.
5. Calcular costos de los equipos necesarios para completar la automatización de toda el área de recibo.

Justificación

El presente proyecto se va a desarrollar en una planta de alimentos balanceados para animales, ubicada en Cot de Cartago, donde se tiene previsto diseñar la automatización del área de recibo de la planta, analizando los errores humanos y evitar contaminaciones de producto en los elementos de almacenamiento de materia prima. De esta forma poder cumplir con los estándares de calidad en el producto final para venta.

La propuesta de automatización para el área de recibo de materia prima se da principalmente porque en la actualidad no existe ningún control de los equipos de transporte de la materia prima como son los elevadores, las cadenas de arrastre, distribuidores y cambia vías existentes en la planta. Por eso este proyecto pretende tener el control de estos equipos y la correcta trazabilidad de la materia prima que se almacena. Eliminando el control manual que tiene actualmente la planta se pretende disminuir el error humano y mejorar la eficiencia en esta área.

Todos los equipos del área de recibo se podrán conectar con el sistema de control y adquisición de datos instalado en la planta, donde se podrá tener la información en tiempo real de la manipulación de las materias primas por almacenar, con el beneficio de disminuir los tiempos muertos por los traslados del operario para poder manipular los equipos.

Estos problemas giran alrededor de los conceptos de seguridad, calidad y eficiencia de la planta, donde estos parámetros para una industria son de primer nivel en la escala de prioridades y con esto puede elevar la producción y de esta forma se ven los beneficios económicos.

Antecedentes

Internacionales

Tesis n°1.

Institución: Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, México

Tema: “Estructuras de sistemas de control de eventos discretos en un PLC aplicado a procesos híbridos”.

Autor: Cristina Tehaní Aparicio García

Fecha: diciembre de 2008

El objetivo principal de este proyecto es lograr a través de la automatización mejorar el desempeño de un proceso híbrido que tiene dinámicas discretas y continuas operando por medio de controles independientes, donde se trata de enlazar con un controlador lógico programable.

La Sra. Cristina Aparicio utiliza diferentes programas para la identificación de variables y la modelación de los autómatas híbridos. También se aplica la metodología RIMAnI (Recolección de la información, modelación, análisis e implementación) donde sería de gran ayuda para el proyecto que se pretende implementar.

El fin principal del proyecto de la Sra. Cristina Aparicio es llegar a mejorar el desempeño de un proceso híbrido mediante la implementación de un PLC donde se logra con diferentes análisis y poder hacer diferentes implementaciones simuladas del proceso.

En este proyecto se lograron tener la documentación gráfica para análisis y comprender los conocimientos del autómata, mientras que la metodología RIMAnI se convierte en una herramienta útil para desarrollar el programa del PLC.

Como se comentaba anteriormente de este proyecto se tomará en referencia la metodología RIMAnI para la implementación en mi proyecto.

Tesis n°2

Institución: Escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Tema: “Implementación de una estación de almacenamiento de probetas distintos materiales y tamaños controlados por PLC y pantalla táctil para el laboratorio de control y automatización de procesos industriales de la escuela de ingeniería mecánica de la ESPOCH”

Autores: Oscar Leonardo Garces Coca, Ángel Alonso Shagñay Pucha

Fecha: 2014

El proyecto de los Sres. Garces y Shagñay tiene como finalidad realizar una integración con un PLC y una pantalla táctil para una estación de almacenamiento de probetas de distintos materiales en su universidad, donde se tuvieron que seguir diferentes pautas para tener la interfaz

hombre-máquina más adecuada, donde se utilizan diferentes programas para hacer diseños mecánicos y neumáticos del equipo a utilizar.

Los encargados del proyecto pretenden presentar programas de mantenimiento preventivo para poder preservar la vida útil del equipo que quieren implementar. Con esta implementación se logra la interacción de los usuarios de este laboratorio, donde la interfaz entre hombre-máquina es sumamente importante para las comunicaciones con el PLC y demás.

También se está utilizando sistemas de comunicación entre el PLC y la pantalla táctil en este caso al ser equipos de una marca específica SIEMENS se comunican por medio de PROFINET por cables de red y existe la transmisión de variables en tiempo real en la estación.

El uso de comunicaciones de redes, y la implementación de la interfaz hombre-máquina serán de vital importancia para el desarrollo de mi proyecto donde se tendrá que realizar un sistema similar con la diferencia de marcas y tipo de desarrollo.

Tesis n°3

Institución: Universidad Siglo 21, Argentina

Tema: “Sistema de control para la producción de gírgolas”

Autor: Marcos Eduardo Sepúlveda

Fecha: noviembre 2021

El objetivo principal del proyecto del Sr. Marcos es poder tener un sistema de información donde puedan registrar y monitorear diferentes variables que intervienen en el proceso de producción de gírgolas, usando tecnologías de automatización, con el fin de tener la trazabilidad del producto.

La producción de gírgolas; que son hongos comestibles; en Argentina no cuentan con controles que mejoren la eficiencia y que pueda tener control de la trazabilidad del producto para la venta, por lo que en el proyecto del Sr. Marcos se pretende tener el control de estas variables a través de un PLC, para poder tener una aplicación donde se pueda visualizar todo el proceso hasta el producto terminado.

Con este proyecto lograron innovar y tener la eficiencia de conocer los datos de la producción en tiempo real, así como la información acerca del producto. Se utilizan diferentes herramientas de integración de análisis y planificación.

El manejo de las variables por medio de control de PLC se requiere para poder el monitoreo en el proyecto que se tiene previsto a desarrollar.

Tesis n°4

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México, México

Tema: “Automatización por PLC de una mezcladora en una línea de fabricación de pan”

Autor: Fernando Carmona Orozco

Fecha: Marzo, 2012

El desarrollo de este proyecto se basa en mejorar la productividad de una línea de producción que se encuentra cien por ciento manual, donde se tienen muchas fallas eléctricas y de proceso porque en la mezcla para poder tener un producto final deseable se requiere que todos los ingredientes se agreguen correctamente, en ocasiones hace falta algún ingrediente y la masa para el pan que se desea producir no da los resultados esperados.

Por eso es por lo que en la propuesta del Sr. Fernando se tiene como solución la implementación de un PLC que controle todo el ciclo de preparación y mezcla de los equipos, con el fin de reducir fallas eléctricas que se presentan con los relés, temporizadores, entre otros, con la ventaja de que con el nuevo equipo se podrá tener una lógica de fallas que puede informarle al operario con mejor precisión y mayor velocidad.

Con esta implementación se ha logrado el objetivo que se planteó en un inicio, donde no se han desechado preparaciones ya mezcladas donde se desperdiciaba el producto, también mejoró las labores de los empleados porque se redujo el estrés por un error de ejecución con las materias primas.

También se tuvieron limitantes en la parte de equipos por falta de sensores y la implementación de elementos de seguridad, por lo que se tuvieron que reducir los puntos de control del equipo respecto a los que se tenían presupuestados.

El proyecto del Sr. Fernando tiene la particularidad de que nos puede afectar el tema de los sensores, entonces podemos referenciar la forma en que se logró solventar esta limitante en mi proyecto.

Tesis n°5

Institución: Instituto tecnológico de Monterrey, México

Tema: “Monitoreo y diagnóstico de sistemas de automatización SIMATIC”

Autor: Víctor Hugo Martínez Castro

Fecha: setiembre, 2011

En la propuesta del Sr. Víctor Hugo se va a realizar un diagnóstico y gestión de sensores, actuadores y controladores programables basados en diferentes componentes de automatización y módulos entradas y salidas en diferentes protocolos de comunicación industrial como lo son MPI, PROFIBUS y PROFINET, todas estas comunicaciones nativas de los sistemas SIEMENS, ya que el proyecto está basado en esta marca de controladores lógicos programables.

Con este sistema se logró analizar diferentes necesidades que se presentan en la industria y se logren determinar sin importar la marca o fabricante de los equipos, y toda la aplicación va a depender de la robustez del sistema y la velocidad de respuesta.

Toda esta robustez del sistema se encarga de garantizar una estructura de la programación realizada, por eso en el proyecto del Sr. Víctor eligieron equipos SIEMENS donde garantizan rentabilidad del equipo por al menos diez años, entonces garantizan un sistema duradero, donde se logra poder tener un mejor plazo sin necesidad de cambios en los equipos.

Los sistemas de este tipo deben de garantizar un tiempo de ciclo establecido y una velocidad de transmisión de red a utilizar, en el proyecto logran tener tiempos óptimos gracias al modelo

seleccionado una CPU-314-2DP que el tiempo de transmisión de datos menores a 100 milisegundos.

Las recomendaciones de uso de comunicaciones del proyecto del Sr. Víctor Hugo son muy importantes en la implementación de mi proyecto, porque la forma de aplicación de estas. También se muestra el manejo de rentabilidad de equipos para el control futuro.

Tesis n°6

Institución: Universidad tecnológica de Pereira, Colombia

Tema: “Diseño de la automatización de los periféricos de una línea de inyección de plásticos usando PLC e interface HMI”

Autor: Juan Carlos Ríos Vasco

Fecha: 2015

Lo que pretende este proyecto es poder realizar una automatización de una línea de inyección de plásticos, con la integración de los equipos periféricos por medio de un PLC y se realiza una interfaz gráfica.

Con la automatización de esta línea de inyección de plástico se logró reducir la intervención física de un operario en el proceso, logrando reducir los errores humanos, ya que con el PLC se logra tener el monitoreo constante de las variables del sistema y genera alarmas en el momento que se requieran. Además, el uso de pantallas para el monitoreo del proceso facilita la operación del operario ya que evita desplazamientos innecesarios para conocer las condiciones del sistema.

El Sr. Juan Carlos logro determinar una serie de variables que pueden contemplarse en mi proyecto como es el análisis de tiempos para garantizar que los ciclos del proceso se logren sin inconvenientes en la planta.

También se logra determinar que el autómata programable es vital en esta aplicación para el uso de variables, pues con esta información se puede brindar el uso de diversas señales de entrada o salida como son sensores y pulsadores, así como funciones internas de tiempo o conteo, otro punto a destacar del proyecto es que la interacción hombre-máquina fue beneficiada con la

integración de la pantalla HMI, ya que permite un monitoreo remoto de todo el sistema de inyección.

Nacionales

Tesis n°1

Institución: Universidad Técnica Nacional, Costa Rica

Tema: “Creación del sistema SCADA considerando la interfaz hombre máquina y la reprogramación de los controladores de los principales procesos de manufactura de la planta de alimentos PROSALUD en un lapso de 8 meses”.

Autor: Ángel Salas Fallas, Steven González Rodríguez

Fecha: Agosto, 2020

El proyecto de los Sres. Ángel y Steven se enfoca en la implementación de un sistema SCADA, en la plataforma Wonderware de la marca Schneider, donde pretenden obtener información confiable y centralizada de las áreas de producción y facilidades.

Lo que se busca es que la información de las máquinas de la planta se logren centralizar la información en un solo punto, ya que se encuentran con diversos puntos de manipulación de todos los procesos de la producción.

Se utiliza el protocolo de comunicación Ethernet/IP para enlazar las variables de los PLC con el sistema Wonderware para que la información de cada sector quede almacenada en un solo punto de operación.

Con la implementación de este proyecto se lograron incluir diferentes variables que colaboran en la toma de decisiones de forma más certera en el momento de las operaciones, también en esta planta se tenían diferentes marcas de equipos, donde con el sistema SCADA se logran integrar todas sus señales para recopilar información.

Las referencias de la plataforma Wonderware se pueden implementar en mi proyecto, ya que en la planta de alimentos cuentan con la actualización de este SCADA bajo el nombre de AVEVA.

Tesis n°2

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tema: “Sistema de control automático para un horno industrial”

Autor: José Fabio Arguedas Romero

Fecha: Noviembre, 2010

El objetivo principal del proyecto del Sr. José Fabio es lograr regular la temperatura del horno de producción de tortillas T600 en sus dos primeras zonas, para tener los valores de temperatura establecidos por el operador.

Al inicio del proyecto se tenía un control inadecuado de la temperatura del horno, con secuencias inseguras de encendido y apagado que al final provocaban problemas en la producción, así como gastos innecesarios, además de tiempo perdido en la producción por daños de los componentes de los hornos, donde todo esto afectaba el producto final que son las tortillas que no cumplen con los estándares de calidad.

Por lo cual se propone el uso de un PLC para monitorear por medio de interfaces gráficas el estado del horno de una forma más eficaz y rápida, desarrollando un control automático de la temperatura y funcionamiento general del horno.

Con esta implementación se logró reducir los gases contaminantes y desperdicios de combustible generados por el horno, de esta forma afectando la parte económica de la industria, también con la centralización del control se mejoró en la eficiencia de la operación del equipo con más precisión y fácil de usar.

Toda la integración realizada garantizó una correcta utilización del equipo por parte de los operadores, además la recomendación de diferentes equipos como gabinetes para proteger los

dispositivos de control ayudo a mejorar las condiciones de operación y tener control de condiciones ambientales dañinas como el polvo, la humedad y altas temperaturas.

La propuesta para mejorar la eficiencia del horno realizada por el Sr. José Fabio nos puede ayudar porque uno de los objetivos de mi proyecto es este punto.

Tesis n°3

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tema: “Diseño de control automático para apertura de compuertas de excedencia del embalse Sandillal”

Autor: Álvaro José Alvarado Martínez

Fecha: Marzo, 2009

La propuesta del Sr. Álvaro pretende modernizar la lógica de control de las compuertas de excedencia del embalse Sandillal, el cual cuenta con sensores y dispositivos de control poco confiables, además el sensor de retroalimentación del posicionamiento de las compuertas tiene problemas.

Por eso es por lo que este proyecto pretende modernizar los sistemas de control y comunicaciones, por lo que se debe recomendar equipos que se puedan conectar con ciertos procesos de la planta y dar mayor fiabilidad en la lógica de control. También en la propuesta se recomienda otro tipo de sensor para la retroalimentación del movimiento de la compuerta.

Finalmente se logró tener un prototipo del sistema, además se complementó el uso del sensor de posición con un respaldo en caso de fallo, con un sistema de lazo abierto de acuerdo con el tiempo transcurrido.

Este proyecto tiene la similitud de que es una modernización del control de las compuertas donde el uso de comunicaciones se pretende usar en mi proyecto para poder tener la referencia de la forma de uso de esta información.

Tesis n°4

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tema: “Diseño de un sistema SCADA para la automatización de la planta de tratamiento de aguas de la empresa Cargill en San Rafael de Alajuela”

Autor: Freddy Salazar Acosta

Fecha: I semestre, 2019

El objetivo principal del proyecto es la implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos para una planta de tratamiento, con la integración de sensores, bombas, motores y otros elementos que logren optimizar el proceso actual de la planta.

Por eso es por lo que se plantea el diseño de un SCADA y que tiene el fin de automatizar la planta de tratamiento para que sea más eficiente y permita eliminar los procesos manuales, también para mejorar el mantenimiento preventivo de los equipos. Este diseño se basa en la parte de equipos y programas, además del uso de comunicación Modbus TCP/IP.

Se concluye que en el proyecto que se logran configurar los equipos que se presentan en la planta, contemplando equipos nuevos necesarios para la implementación del sistema, además se demuestra la rentabilidad del equipo con un retorno de inversión en 3.1. años.

También se muestra que el uso de variadores de frecuencia colabora en reducir la demanda de consumo eléctrico de la empresa, todo esto gracias a los arranques suaves.

La automatización de elementos y procesos manuales se pueden incluir y tener relación con los equipos que se pretenden automatizar en mi proyecto en la forma de aplicación de las cosas realizadas por el Sr. Salazar.

Tesis n°5

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tema: “Propuesta de diseño integral para la automatización de una planta procesadora de cítricos”

Autor: Julio César Coto Arroyo

Fecha: 2001

Este proyecto pretende tener un diseño integral de automatización para la solución de la problemática de eficiencia, calidad y seguridad para las operaciones de transferencia de jugo. Por lo que se recomienda la implementación de sistemas de control como lo son PLC y diferentes interfaces para los operarios.

Con la aplicación de este proyecto tienen previsto cumplir con la normalización ISO-9000 en la planta donde se está desarrollando el proyecto. También se pretende el uso de equipos de campo con señales analógicas de 4-20 mA para reducir el ruido que pueden ser sometidas.

También se demuestra que los resultados superan las expectativas del cliente final con la implementación del PLC en esta planta.

Este proyecto tiene mucha similitud con mi proyecto, ya que tienen previsto la mejora de eficiencia, calidad y seguridad del proceso de jugos que podemos trasladar a la planta de alimentos para animales.

Tesis n°6

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Tema: “Implementación de un traductor Modbus para una unidad terminal remota de un sistema SCADA”

Autor: Fernando Lizana Moreno

Fecha: 2001

El proyecto del Sr. Fernando busca tener comunicación entre un computador central y las unidades terminales remotas del sistema SCADA, con protocolos estandarizados conocido como Modbus.

Por lo que se pretende realizar un documento con el dispositivo traductor, que se logre comunicar entre la computadora central con la unidad terminal remota del sistema SCADA. Con esto se puede tener la referencia donde los equipos pueden usar un punto central como servidor de proceso que le llaman computadora central donde hace la comunicación general y se usan los diferentes equipos para poder realizar el enlace final.

Con la conclusión del Sr. Lizana podemos tener de referencia que la comunicación Modbus se puede utilizar de diferentes formas como es la unidad terminal remota (RTU) y la TCP/IP, lo cual en nuestro proyecto para tener una actualización de sistemas se podría usar TCP/IP.

Proyecciones

- Se pretende realizar un análisis para buscar la disminución de tiempos perdidos en el área de recibo de la planta con el fin de mejorar la eficiencia y calidad.
- Ofrecer una solución donde se eviten desplazamientos innecesarios de los operadores para realizar los cambios de dirección de los equipos de forma manual, garantizando el arranque remoto y de forma automática desde la interfaz gráfica de control.
- Se espera la que propuesta de automatización de esta área se logren evitar las contaminaciones de producto con el control del manejo de las materias primas y la ubicación correcta de los bajantes de los elevadores.
- Garantizar seguridad en el control de los equipos con diferentes sensores en los equipos a controlar para evitar atascamientos y sobrecargas de motores.

Limitaciones

- En la planta de alimentos balanceados actualmente no cuentan con equipos de seguridad de proceso, nos podría limitar por la inversión económica que se podría requerir, donde cada uno de los elevadores y cadena de arrastre requieren diferentes tipos de sensores.
- Falta de investigaciones de carácter público tanto a nivel nacional como internacional, que aporten conocimientos para el desarrollo de este proyecto en el ámbito de plantas de alimentos para animales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Plantas de alimentos balanceados para animales

En este apartado se pretende explicar los procesos que se realizan en las plantas de alimentos balanceados para animales.

Toda planta de alimentos para animales está regida por la Ley General del Servicio Nacional de Salud Animal N°8495. Publicada en La Gaceta #93 del 6 de abril del 2006. Tiene como objetivo: “Regular la protección de la salud animal, la salud pública veterinaria y el funcionamiento del SENASA”.

En esta Ley varios artículos regulan específicamente el tema de alimentación animal, donde uno de los títulos más importante es el siguiente:

El “TÍTULO III: Protección de la salud animal, control veterinario de las zoonosis e inocuidad de los alimentos de origen animal”. En el “Capítulo V Control veterinario de establecimientos”, mediante el “Artículo 56. Establecimientos sujetos a control. El SENASA otorgará o retirará el certificado veterinario de operación a los siguientes establecimientos:” (especifica en el inciso g). “Los elaboren, importen, des almacenen, fraccionen, almacenen, transporten y vendan medicamentos veterinarios, sustancias peligrosas para la salud animal y químicos para los alimentos de origen animal”.

Es por eso por lo que la planta de alimentos para animales se divide en las siguientes secciones, donde se deben cumplir las normas aplicadas por el SENASA y mantener la calidad requerida.

Recibo de materias primas y molienda

En esta área se encarga de recibir los camiones graneleros, para que pasen a descargar a la fosa de recibo de materia prima y desde aquí iniciar el proceso de transporte del material, ya sea a los silos de almacenamiento o los silos de dosificación de materia prima.

Generalmente los silos de almacenamiento se utilizan para las materias primas de mayor consumo, como lo es el maíz, el cual lo reciben en grano entero y pasa por otro proceso que se llama molienda, donde se encarga de convertir el maíz en grano entero a otras presentaciones como

puede ser maíz molido o maíz quebrado, que ya se va a enviar a los silos de dosificación para poder preparar el producto final.

Dosificación automática y mezcla

La parte medular de una planta de alimentos balanceados es el área que se encarga de la preparación del producto, todo esto de acuerdo con la formulación requerida para la correcta alimentación de los animales, ya sea en mascotas o en animales para producción de carne o productos lácteos.

En esta parte se debe garantizar un correcto pesaje de los ingredientes, por lo que se tienen diferentes básculas en los procesos para poder adicionar las cantidades correctas de cada una de las materias primas, sea de los silos de dosificación, inclusiones manuales o materiales líquidos.

En el momento de tener todos los materiales sólidos en la pesados se procede a realizar el transporte hacia la mezcladora con el fin de adicionar los líquidos y homogenizar el producto, en este punto los ciclos de mezclado se encargan de la calidad del producto.

Empaque y despacho a granel

En la parte final del proceso de la planta de alimentos para animales se tienen dos puntos clave para la operación, es el área de empaque, en esta parte se utiliza una ensacadora donde se pesan los sacos que salen a la venta al público, y el área de despacho a granel, en este punto el despacho se realiza por medio de camiones y se garantiza el peso del producto que lleva por medio de la báscula camionera.

ELEMENTOS DEL ÁREA DE RECIBO

Elevadores

Los dispositivos transportadores que desplazan material en direcciones vertical o próximas a la vertical, se llaman elevadores. Los elevadores verticales son sencillos por su construcción y no necesitan una envoltura de forma compleja o dispositivos de apoyo especiales para el ramal libre. (Miravete & Larrodé, 1996)

En la figura se puede ver la estructura y diseño de un elevador vertical de cangilones.

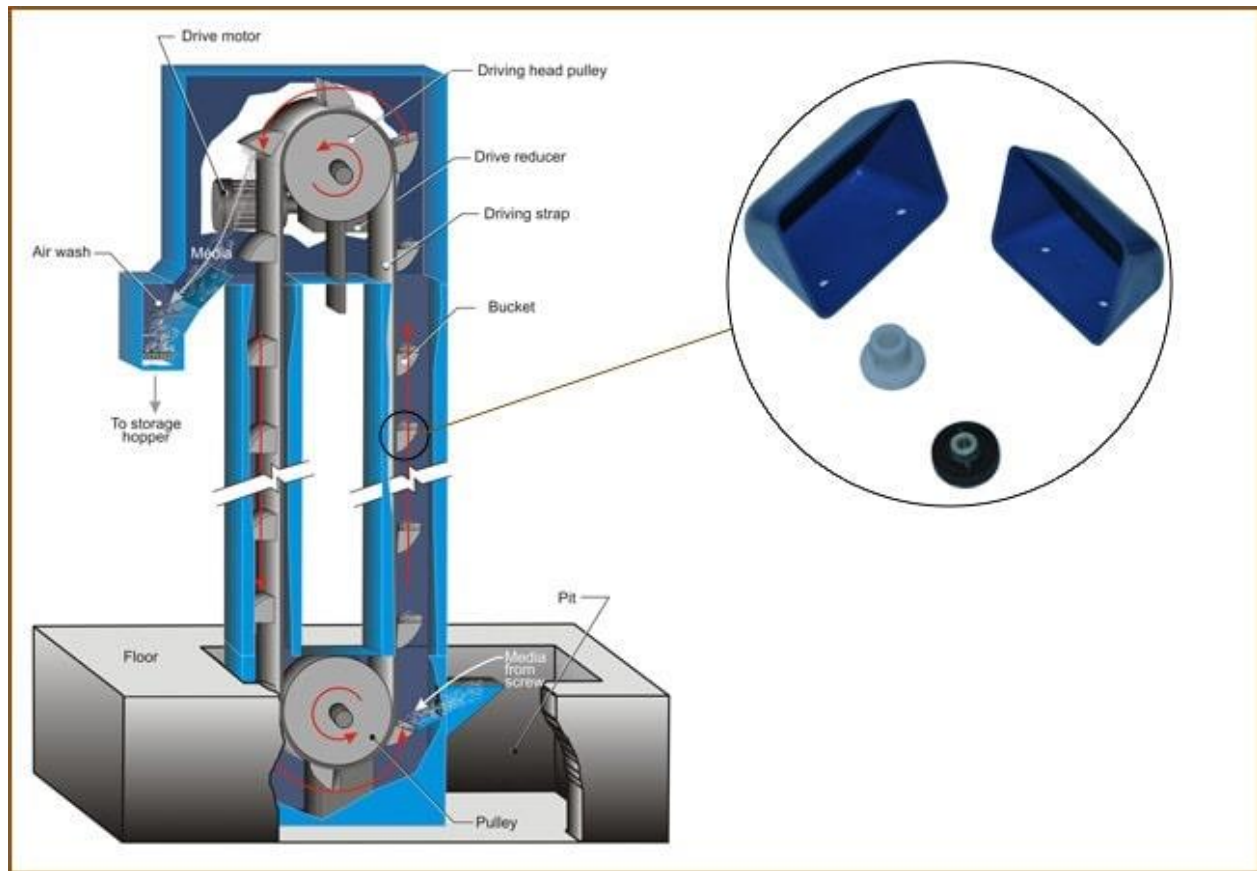


Figura 1 Elevador vertical de cangilones

Según Miravele & Larrodé (1996) en las páginas de la 38 a la 40 existen cinco tipos de elevadores de cangilones:

1) Cangilones montados sobre banda o cadena con descarga centrífuga

La descarga de los cangilones de los elevadores a grandes velocidades de movimiento se efectúa derramando o lanzando la carga en el punto superior del elevador, bajo la acción de la fuerza centrífuga.

El llenado de cangilones se efectúa directamente, después de pasar estos bajo las ruedas o tambor de la caja tensora inferior. La descarga se realiza por proyección del material, originada por la fuerza centrífuga, como consecuencia de la elevada velocidad de los cangilones.

Este tipo de elevadores se utiliza generalmente para manipular materiales de grano fino, que no requieren un especial cuidado que se desprenden fácilmente de los cangilones.

2) Cangilones montados sobre cadena de descarga positiva

A velocidades menores, cuando el lanzamiento de la carga no tiene lugar, la descarga de los cangilones se efectúa, derramando el material al recorrer éstos el piñón de cadena superior. En este caso, es necesario desviar el ramal libre del elevador para que sea posible la colocación de una artesa receptora, debajo de la carga o hacer el elevador inclinado.

El llenado de los cangilones se efectúa generalmente dragando o directamente después de pasar éstos bajo las ruedas de la caja tensora inferior.

3) Cangilones de escama montados sobre banda o cadena

Si es necesario efectuar la descarga derramando el material desde el elevador vertical sin inclinar los cangilones, pueden emplearse los cangilones de escama, cuya pared anterior sirve de canalón para la carga que se derrama desde el cangilón. Este tipo de descarga se aplica a los elevadores de marcha lenta, a una velocidad de movimiento no mayor de 0.8 m/s.

4) Cangilones montados sobre cadena con descarga central

Los cangilones están montados, distanciados entre sí a intervalos regulares, sobre ramales dobles de cadena.

El llenado de los cangilones se efectúa generalmente dragando o directamente, después de pasar éstos bajo las ruedas de la caja tensora inferior.

Debido a la reducida velocidad de la cadena y a la especial disposición de los cangilones, la descarga se realiza hacia el interior del elevador, vaciándose éstos por gravedad al quedar invertidos a su paso por las ruedas motrices.

Se recomienda este tipo de elevadores para un funcionamiento continuo sometido a duras exigencias y para materiales pulverulentos, frágiles, pesados o abrasivos, de muy variada granulometría.

5) Cangilones montados sobre banda con doble columna

Los cangilones están montados sobre banda de goma en una o varias hileras, pareados o al tresbolillo y distanciados entre sí a intervalos regulares.

El llenado de los cangilones se efectúa por proyección del material, originada por la fuerza centrífuga, como consecuencia de la elevada velocidad de la banda.

El tambor motriz es de mayor diámetro que el tensor, manteniendo la estabilidad de la banda un rodillo de inflexión próximo a la caja tensora inferior.

Están especialmente indicados para importantes alturas de elevación y grandes capacidades, utilizándose para materiales de gran fluencia y resistentes al fragmentamiento que pueden admitir elevadas velocidades.

En la figura se logra ver los tipos de descarga de los elevadores.

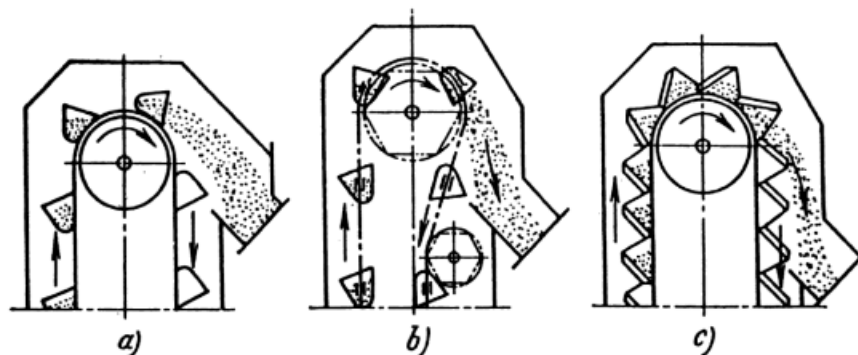


Figura 2 Descarga de un elevador de cangilones: a) por lanzamiento; b) por derrame; c) por derrame a cangilones de escama.

Transportadores de tornillo sin fin

Se llaman transportadores de tornillo sin fin los aparatos que efectúan el desplazamiento del material por un canalón, valiéndose de un tornillo giratorio. Este transportador consta del canalón inmóvil, cuya parte inferior tiene la forma de un semicilindro, cerrado por arriba con la tapa. La descarga de este transportador horizontal puede realizarse en cualquier punto a través de los agujeros descargadores de chapa de fondo. Las espiras del tornillo se fabrican estampadas de chapa de acero de 4 a 8 mm de espesor y, luego se sueldan al árbol. (Miravete & Larrodé, 1996)

En la figura se puede ver el despiece mecánico de un transportador de tornillo sin fin.

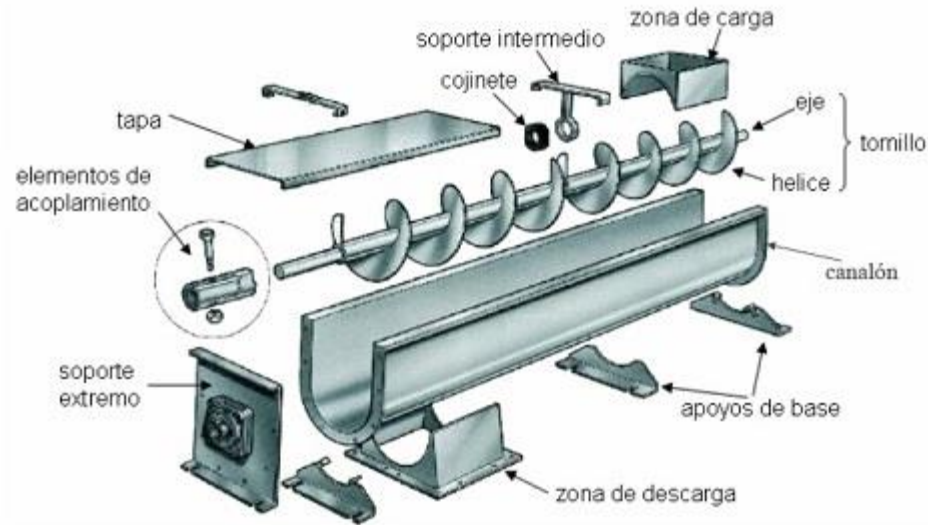


Figura 3 Transportador de tornillo sin fin

SCADA

SCADA (Supervisory, Control and data acquisition por sus siglas en inglés) consiste en un sistema que recolecta datos desde terminales remotas hasta una estación servidor por medio de la comunicación del sistema.

La precisión y el tiempo de los datos (normalmente en tiempo real) permiten la optimización de la planta y los procesos. En el futuro beneficia la eficiencia, confiabilidad y lo más importante, la seguridad operativa. (Bailey & Wright, 2003)

Hoy en día existen varios sistemas que permiten controlar y supervisar, tales como PLC, DCS (Sistema de control distribuido) y ahora SCADA que se pueden integrar y comunicar entre si mediante una red *Ethernet* con el fin de que el operador pueda mejorar la interfaz en tiempo real.

Esto permite no solo supervisar el proceso sino tener acceso al historial de alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionada, presentar en un simple computador, por ejemplo, una planilla Excel, un documento Word, todo en ambiente Windows, con lo que todo el sistema resulta más amigable. (Pérez López, 2015)

Sistemas de visualización

Las necesidades de ver en la distancia y controlar una maquina aparecen en los primeros cuadros de control, donde una multitud de luces indicaba las diferentes situaciones previstas de la máquina. Cualquier situación imprevista, o pasada por alto podía significar varias horas de trabajo

de electricista para llevar la señal olvidada al panel de control y podía ser que no hubiera espacio para colocar el indicador.

La aparición de la informática permitió realizar este tipo de control de manera más sencilla. Ahora ya no sería necesario tener verdaderos expertos en sistemas de automatización cada vez que hiciera falta cambiar el ajuste de un temporizador en un sistema de control.

Los grandes cuadros de control empezaban a convertirse en monitores que podían mostrar la misma información, pero cualquier cambio en la presentación era más sencillo de realizar. Bastaban unas modificaciones en el código de la aplicación para que en la pantalla apareciera.

Vista la necesidad, varios fabricantes desarrollaron entonces paquetes de software capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes y permitieron si una flexibilidad de uso no imaginada hasta el momento, esta tendencia ha ido en aumento de tal manera que hoy día las opciones existentes son numerosísimas. (Rodríguez Penin, 2011)

Principios fundamentales de los SCADA modernos

SCADA se refiere a la combinación de telemetría y adquisición de datos. SCADA abarca la recopilación de la información, su transferencia al sitio central, la realización de cualquier análisis y control necesario y luego la visualización de esa información en una serie de pantallas del operador. Las acciones de control requeridas luego se transmiten de vuelta al proceso.

A medida que crecía la necesidad de sistemas más pequeños e inteligentes, los sensores se diseñaron con la inteligencia de los PLC y los DCS. Estos dispositivos se conocen como IED (dispositivos electrónicos inteligentes). Los IED están conectados en un bus de campo, como Profibus, Devicenet o Foundation Fieldbus a la PC. Incluyen suficiente inteligencia para adquirir datos, comunicarse con otros dispositivos y mantener su parte del programa general. Cada uno de estos sensores superinteligentes puede tener más de un sensor a bordo. Por lo general, un IED podría combinar un sensor de entrada analógica, una salida analógica, un controlador proporcional, integral y derivativo (PID), un sistema de comunicación y una memoria de programa en un solo dispositivo. (Bailey & Wright, 2003)

PLC

Un PLC, denominado así por sus siglas en inglés de Controlador Lógico Programable, es un aparato que fue inventado para reemplazar los circuitos secuenciales de relés utilizados en el

control de máquinas, el PLC trabaja revisando sus entradas, dependiendo del estado de éstas manipula el estado de sus salidas, encendiéndolas o apagándolas. El usuario debe ingresar un programa usualmente vía software, que lleva a obtener los resultados de operación deseados. (Ramírez Cortés, 2001)

Los PLC se utilizan ampliamente para una variedad de tareas de automatización en áreas como los procesos industriales en la fabricación.

¿Qué tipos de tarea podría manejar un sistema de control? Puede ser necesario para controlar una secuencia de eventos, mantener constante alguna variable o seguir algún cambio prescrito. (Bolton, 2015)

Arquitectura del PLC

Un PLC generalmente consta de una unidad central de procesamiento (CPU) que contiene el microprocesador del sistema, la memoria y los circuitos de entrada/salida. Puede considerarse efectivamente como una unidad que contiene un gran número de relés, contadores, temporizadores y unidades de almacenamiento de datos independientes. Estos, sin embargo, no existen físicamente en el PLC, sino que son simulados por software. (Bolton, 2015)

Unidad de entrada/salida

La unidad de entrada/salida en un PLC proporciona el circuito interfaz entre el sistema y el mundo exterior, lo que permite realizar conexiones a través de canales de entrada/salida a dispositivos de entrada como sensores y dispositivos de salida como motores y solenoides. También es a través de la unidad de entrada/salida que los programas se ingresan desde un panel de programas. Cada punto de entrada/salida tiene una dirección única que podría ser utilizada por la CPU. Es como una hilera de casas a lo largo de un camino, el número 10 podría ser la “casa” utilizada para la entrada de un sensor en particular, mientras que el número 45 podría ser la “casa” utilizada para la salida de un motor. (Bolton, 2015)

Tiempo de respuesta

El tiempo de respuesta total de un PLC es lo que se ha de considerar en la compra de un equipo. Así como nuestro cerebro, el PLC toma un cierto tiempo para reaccionar a los cambios. En muchas operaciones la velocidad no es importante, pero en otras es determinante en la respuesta adecuada de nuestro PLC.

El tiempo de respuesta del PLC considera el tiempo necesario de la salida de la señal, dejando de lado la consideración del tiempo que toman los actuadores para realizar lo mandado por la señal. Esto es muy importante y no se debe olvidar a la hora de determinar el tiempo de respuesta requerido para nuestro PLC. (Ramírez Cortés, 2001)

Modo de Operación

Un PLC trabaja barriendo continuamente un programa. Podemos entender estos ciclos de barrido como la ejecución consecutiva de tres pasos principales, pero podemos enfocarnos en estos ya que dan una buena idea del funcionamiento. (Ramírez Cortés, 2001)

- Revisar estado de las entradas
- Ejecución del programa
- Actualización del estado de las salidas

Concepto de control

Cualquier sistema controlador puede serlo de dos maneras:

- Confiando absolutamente en que los parámetros de diseño son correctos y que las órdenes que enviemos al sistema serán cumplidas.
- Vigilando continuamente que las órdenes enviadas se cumplen y realizando las correcciones siempre que sea necesario.

Todos los sistemas de control se engloban dentro del primer modelo reciben el nombre de *Sistema de Regulación de Lazo Abierto*. Se basan en el diseño adecuado de los parámetros y las condiciones de trabajo del elemento control para que éste sea capaz de mantener el sistema controlado dentro de los límites deseados.

A los que se engloban dentro de la segunda definición, se les denomina *Sistemas de Regulación en Lazo Cerrado*, y trabajan vigilando continuamente las reacciones del sistema a controlar, efectuando las acciones de corrección necesarias para mantener el control dentro de los límites deseados. (Rodríguez Penin, 2011)

Lenguajes de programación

De acuerdo con Mandado & compañía (2009) en su página 205 indican sobre: La existencia de diferentes sistemas de lenguajes propietarios hizo que la Comisión Electrotécnica Internacional,

con el objetivo de responder a la complejidad creciente de los sistemas de control y a la diversidad de autómatas programables incompatibles entre sí, elaborarse la norma IEC 1131-3 que está siendo paulatinamente adoptada por los diferentes fabricantes. Dicha norma constituye un sistema de programación que está formado por dos tipos de lenguajes de programación diferentes:

- Lenguajes literales

Las instrucciones de este tipo de lenguajes están formadas por letras, números y símbolos especiales. Son lenguajes de este tipo:

- El lenguaje de lista de instrucciones
- El lenguaje de texto estructurado

- Lenguajes gráficos

Son lenguajes en los que las instrucciones se representan mediante figuras geométricas. Son lenguajes de este tipo:

- El lenguaje de esquema de contactos
- El lenguaje de diagrama de funciones
- El diagrama funcional de secuencias, cuyo principal antecedente es el lenguaje GRAFCET desarrollado por la Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica.

Todos estos lenguajes facilitan la labor de programación al usuario y la elección de uno u otro depende de su experiencia y conocimiento (en Electrónica Digital, Informática, implementación de sistemas de control lógico con relés, etc.), de la forma en que se especifica el problema de control a resolver y de la complejidad de este.

Tipos de datos

Para Mandado & compañía (2009) en la página 206 indican que: Los datos constituyen la información básica con la que se realizan operaciones. En la norma IEC 1131-3 se definen los tipos de datos que se indican en la tabla,

Denominación	Bits	Ejemplo	Descripción
BOOL	1	FALSE o TRUE	Variable binaria o lógica
INT	16	-32768 ... 32767	Número entero con signo
UINT	16	0 ... 65535	Número entero sin signo
REAL	32	0.4560	Número real
BYTE	8	0 ... 255	Conjunto de 8 bits
WORD	16	0 ... 65535	Conjunto de 16 bits
DWORD	32	0 ... $2^{32}-1$	Conjunto de 32 bits
TIME		T#5d4h2m38s3.5ms	Duración
DATE		D#2002-01-01	Fecha
TIME_OF_DAY		TOD#15:35:08.36	Hora del día
DATE_AND_TIME		DT#2002-01-01-15:35:08.36	Fecha y hora
STRING		'AUTOMATA'	Cadena de caracteres

Tabla 1 Principales tipos de datos de la norma IEC 1131-3

COMUNICACIONES INDUSTRIALES

De acuerdo con Peciña (2018) comenta que: Cuando los sistemas industriales se hicieron más complejos, también el cableado entre ellos requería de una inmensa cantidad de cables. Ese fue uno de los principales motivos por los que se implementaron las comunicaciones en la industria; el objetivo era reducir el cableado y no cabe duda de que, de este modo, se solucionó. Si pensamos en el ámbito doméstico o social, las redes sociales como Facebook o Twitter forman parte de nosotros y nadie duda de su importancia, aunque siempre existen detractores. Internet es la estrella actual y la gran motivadora de todos los avances en las comunicaciones. El hecho de no utilizar cables para hacer efectivas todas las tecnologías nos ha abierto nuevos mundos. Los ordenadores fueron las primeras máquinas actuales que se pusieron a trabajar de forma conjunta intercambiándose información o compartiéndola.

Era lógico que los ambientes industriales hicieran uso de este tipo de tecnologías en cuanto se demostró su eficacia. El principal objetivo de las industrias es producir y realizarlo con un alto rendimiento para obtener mejores resultados económicos.

Las comunicaciones en la industria han existido siempre; de hecho, se puede decir que dos dispositivos unidos por cualquier tipo de cable se encuentran comunicados. Lo que sucede es que el concepto de comunicación, o más bien las necesidades que se requieren, ahora es distinto.

Ventajas de las comunicaciones en la industria

Para Peciña (2018) se pueden deducir algunas ventajas de lo que las comunicaciones consiguen en la industria. El objetivo de toda producción reside en obtener un producto de calidad a un buen precio, que sea competitivo y del que no se posea stock almacenado.

Según esto, podemos decir que las comunicaciones en la industria, se consiguen las siguientes ventajas:

- Reducción de los stocks.
- Posibilidad de descentralizar la producción en varias plantas, al trabajar conjuntamente.
- Aumento de la eficacia de los diferentes procesos que intervienen en la producción.
- Control automático de las necesidades de materia en función de los pedidos.
- Comunicación automática con los pedidos de los clientes.
- Reducción de costes de mantenimiento, instalación y puesta a punto.
- Trazabilidad de la producción desde el principio: desde el pedido del producto hasta su entrega.
- Mayor control de los procesos intermedios, así como sus alarmas.
- Mantenimientos preventivos basados en hechos “históricos”.

Tipos de comunicaciones industriales

1. Profibus
2. Profinet
3. Ethernet/IP
4. CANOpen

Este proyecto se va a enfocar en dos protocolos específicos, los cuales se van a utilizar para el desarrollo de las comunicaciones con equipos o entre el mismo PLC.

Los protocolos que se tienen previsto usar son los siguientes:

1. Modbus

El protocolo Modbus es una estructura de mensajería creada por Modicon. Este protocolo se usa para establecer una comunicación entre maestro y esclavo en los dispositivos. Pero existen dos que son los más utilizados actualmente: Modbus TCP/IP y el RTU.

El protocolo Modbus TCP/IP es un protocolo de comunicación diseñado que permite a equipos industriales tales como PLCs, PC, drivers para motores y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida, comunicarse sobre una red Ethernet, mientras que el Modbus RTU es una representación binaria compacta de datos.

El protocolo Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo, un equipo de medición temperatura y humedad puede comunicar resultados a una PC. Modbus también se usa para la conexión de un PC de supervisión con una unidad remota en sistemas de supervisión de adquisición de datos. (Estrada Roque)

El protocolo Modbus ofrece varias funciones que se utilizan para leer o escribir datos sobre la red Modbus. El protocolo Modbus también ofrece funciones de diagnóstico y de gestión de red. En esta sección sólo se describen las funciones Modbus gestionadas por el interruptor automático. (Schneider Electric, 2020)

De acuerdo con esto en los mapeos Modbus se tienen diferentes funciones que se describen a continuación:

Código de función	Código de subfunción	Nombre	Descripción
3 (0x03)	–	Leer registros de mantenimiento	Leer n registros de salida o internos
4 (0x04)	–	Leer registros de entrada	Leer n registros de entrada
43 (0x2B)	14 (0x0E)	Leer identificación del dispositivo	Leer los datos de identificación del esclavo
43 (0x2B)	15 (0x0F)	Obtener fecha y hora	Leer la fecha y hora del esclavo

Tabla 2 Funciones de lectura Fuente: Schneider Electric

Según lo descrito por el fabricante Schneider Electric, las funciones de escritura del Modbus se representan de la siguiente manera:

Código de función	Código de subfunción	Nombre	Descripción
6 (0x06)	–	Preestablecer un único registro	Escribir 1 registro
16 (0x10)	–	Preestablecer varios registros	Escribir n registros
43 (0x2B)	16 (0x10)	Ajustar fecha y hora	Escribir la fecha y hora del esclavo

Tabla 3 Funciones de escritura Fuente: Schneider Electric

También se tiene la opción de funciones de diagnóstico, donde se limitan a la siguiente tabla:

Código de función	Código de subfunción	Nombre	Descripción
8 (0x08)	–	Diagnóstico	Gestiona contadores de diagnóstico
8 (0x08)	10 (0x0A)	Limpiar contadores y registro de diagnóstico	Pone a cero todos los contadores de diagnóstico
8 (0x08)	11 (0x0B)	Devolver contador de mensajes del bus	Lee el contador de mensajes correctos del bus gestionados por el esclavo
8 (0x08)	12 (0x0C)	Devolver contador de errores de comunicaciones del bus	Lee el contador de mensajes incorrectos del bus gestionados por el esclavo
8 (0x08)	13 (0x0D)	Devolver contador de errores de excepciones del bus	Lee el contador de respuestas de excepción gestionadas por el esclavo
8 (0x08)	14 (0x0E)	Devolver contador de mensajes del esclavo	Lee el contador de mensajes enviados al esclavo
8 (0x08)	15 (0x0F)	Devolver contador de esclavos sin respuesta	Lee el contador de mensajes de difusión
8 (0x08)	16 (0x10)	Devolver contador de confirmaciones de esclavo negativas	Lee el contador de mensajes enviados al esclavo pero no respondidos debido al código de excepción 07 de acuse negativo
8 (0x08)	17 (0x11)	Devolver contador de esclavos ocupados	Lee el contador de mensajes enviados al esclavo pero no respondidos debido al código de excepción 06 de dispositivo esclavo ocupado
8 (0x08)	18 (0x12)	Devolver contador de rebasamiento del bus	Lee el contador de mensajes del bus incorrectos debido a errores de rebasamiento
11 (0x0B)	–	Obtener contador de eventos de comunicación	Leer el contador de eventos de Modbus

Tabla 4 Funciones de diagnóstico Fuente: Schneider Electric

En el protocolo Modbus al tener un manejo de información por medio de registros se tienen diferentes tipos, donde se pueden ver representados en la tabla 1 de este documento.

2. Ethercat

EtherCAT es una tecnología de Ethernet industrial en tiempo real desarrollada originalmente por Beckhoff Automation. El protocolo EtherCAT que se divulga en el estándar

IEC61158 es adecuado para requisitos de tiempo real estrictos y flexibles en tecnología de automatización, en prueba y medición y muchas otras aplicaciones.

El enfoque principal durante el desarrollo de EtherCAT estuvo en tiempos de ciclo cortos ($\leq 100 \mu\text{s}$), bajo jitter para una sincronización precisa ($\leq 1 \mu\text{s}$) y bajos costos de hardware.

EtherCAT se presentó en abril de 2003 y EtherCAT Technology Group se fundó en noviembre de 2003. Mientras tanto, ETG se ha convertido en la organización de bus de campo y Ethernet industrial más grande del mundo. El ETG reúne a fabricantes y usuarios, que contribuyen en grupos de trabajo técnicos al avance de la tecnología EtherCAT.

Para garantizar la comunicación de TI de Ethernet entre los nodos, las conexiones TCP/IP se pueden canalizar opcionalmente a través de un canal de buzón de correo sin afectar la transferencia de datos en tiempo real.

Durante el inicio, el dispositivo maestro configura y mapea los datos de proceso en los dispositivos esclavos. Se pueden intercambiar diferentes cantidades de datos con cada esclavo, desde un bit hasta unos pocos bytes, o incluso hasta kilobytes de datos.

La trama EtherCAT contiene uno o más datagramas. El encabezado del datagrama indica qué tipo de acceso le gustaría ejecutar al dispositivo maestro:

- Leer, escribir, leer-escribir
- Acceso a un dispositivo esclavo específico a través de direccionamiento directo, o acceso a múltiples dispositivos esclavos a través de direccionamiento lógico (direccionamiento implícito)

El direccionamiento lógico se utiliza para el intercambio cíclico de datos de proceso. Cada datagrama aborda una parte específica de la imagen del proceso en el segmento EtherCAT, para el cual hay disponibles 4 GB de espacio de direcciones. Durante el inicio de la red, a cada dispositivo esclavo se le asigna una o más direcciones en este espacio de direcciones global. Si se asignan direcciones a varios dispositivos esclavos en la misma área, todos pueden direccionarse con un único datagrama. Dado que los datagramas contienen completamente toda la información relacionada con el acceso a los datos, el dispositivo maestro puede decidir cuándo y a qué datos acceder. Por ejemplo, el dispositivo maestro puede usar tiempos de ciclo cortos para actualizar los

datos en las unidades, mientras usa un tiempo de ciclo más largo para muestrear la E/S; no es necesaria una estructura de datos de proceso fija. Esto también alivia el dispositivo maestro en comparación con los sistemas de bus de campo convencionales,

Con EtherCAT, el dispositivo maestro solo necesita llenar un solo marco EtherCAT con nuevos datos de salida y enviar el marco a través de Direct Memory Access (DMA) automático al controlador MAC. Cuando se recibe un marco con nuevos datos de entrada a través del controlador MAC, el dispositivo maestro puede copiar el marco nuevamente a través de DMA en la memoria de la computadora, todo sin que la CPU tenga que copiar activamente ningún dato. Además de los datos cíclicos, se pueden utilizar más datagramas para la comunicación asincrónica o impulsada por eventos. (ethercat.org, 2018)

BECKHOFF

Dentro de la planta se tienen PLC de la marca BECKHOFF el cual se describe a continuación, así como sus módulos.

CX5130

El CX5130 tiene un procesador multinúcleo Intel Atom® con una frecuencia de reloj de 1.75 GHz. Esto hace posible la genuina tecnología multinúcleo en el segmento de PC integrado. Las interfaces de hardware de esta serie están orientadas e implementadas de forma idéntica a las de la serie CX5000 existente. Están disponibles dos interfaces Ethernet independientes con capacidad Gigabit, así como cuatro USB 2.0 y una interfaz DVI-I. Una multitud de opciones de conexión adicionales y funciones de puerta de enlace se crean mediante una interfaz opcional, que se puede preequ coastar de fábrica, así como el nivel de E/S, que opcionalmente puede consistir en E-bus o K-bus.

Dependiendo del entorno de tiempo de ejecución de TwinCAT instalado, el CX5130 se puede utilizar para implementar proyectos de control de movimiento o PLC con o sin visualización. También es posible la ejecución de aplicaciones de control de movimiento con movimientos de eje de interpolación. (BECKHOFF New Automation Technology, 2020)

TwinCAT

Cuando Beckhoff lanzó su tecnología de control basada en PC, creó un estándar global para la automatización. En términos de software, el núcleo del sistema de control ha tomado la forma

de la tecnología de automatización y control de Windows, o TwinCAT, la suite de automatización desde 1996. En combinación con TwinCAT, la cartera de Beckhoff da como resultado conceptos de automatización óptimamente coordinados que cumplen con los principios básicos de un sistema de control abierto y altamente escalable.

TwinCAT transforma casi cualquier sistema basado en PC en un control en tiempo real completo con múltiples sistemas de tiempo de ejecución de PLC, NC, CNC y/o robótica. La posibilidad de ampliaciones modulares permite realizar cambios funcionales y ampliaciones en cualquier momento. Si es necesario, la apertura del sistema de control permite no solo la integración de componentes de terceros, sino también soluciones de actualización personalizadas para máquinas y sistemas existentes. Esto asegura flexibilidad y protección de la inversión para el cliente.

Con TwinCAT 3, la última versión del software, la cartera de Beckhoff da como resultado conceptos de automatización óptimamente coordinados que cumplen los principios básicos de un sistema de control abierto y altamente escalable.

TwinCAT 3 sigue lógicamente a TwinCAT 2 como el último desarrollo de la serie, que ya está redefiniendo el mundo de la tecnología de automatización tal como lo conocemos. La forma en que se implementa la inteligencia de control completa en una sola plataforma de software, dividida en ingeniería y tiempo de ejecución, sigue representando la base del sistema.

Además, tanto la ingeniería como el tiempo de ejecución se pueden ampliar de forma flexible mediante módulos de software específicos de la aplicación, conocidos como Funciones, de modo que el sistema TwinCAT se puede adaptar perfectamente a los requisitos individuales. (BECKHOFF New Automation Technology, 2020)

SENSORES

Para Serna Ruiz & otros (2010) en su página 3 dice que: Los sensores imitan la capacidad de percepción de los seres humanos, por ello es cada vez más usual encontrarlos incorporados a cualquier área tecnológica. Debido a que esta característica de imitar la percepción humana, podemos encontrar sensores relacionados con los diferentes sentidos: vista, oído, tacto, es decir, que reaccionan a la luz, el sonido, el contacto, etc. De igual manera que nuestro cerebro reacciona a la información que reciben de ellos. Los sensores por lo tanto dispositivos electrónicos que nos

permiten interactuar con el entorno, de forma que nos proporcionan información de ciertas variables que nos rodean para poder procesarlas y así generar órdenes o activar procesos.

Echar una mirada a nuestro alrededor nos hará descubrir que se han convertido en algo cotidiano y que los encontramos en innumerables aparatos domésticos: mandos a distancia, sistemas de alarma y seguridad, electrodomésticos, domótica, etc. De igual manera están presentes en automóviles, telefonía móvil, medicina y por supuesto en los procesos de automatización industriales.

Con la incorporación de la sensórica a los sistemas electrónicos se les ha dotado de cierta “inteligencia” artificial, ya que a través de la información que proporcionan, y una vez procesada convenientemente, permiten tomar con precisión y rapidez las mejores decisiones dentro del cometido para el que están diseñados dichos sistemas electrónicos. Así pues, los sensores que incorporan los vehículos de gama alta permitirán que ante una frenada brusca en condiciones de lluvia extrema, el automóvil se detenga en el menor recorrido y con la mayor estabilidad posible, mientras que nosotros sólo nos habremos limitado a pisar el pedal de freno. Esto es un claro ejemplo de la relevancia de la sensórica en nuestra vida.

Clasificación

De acuerdo con Serna Ruiz & otros (2010) a partir de la página 3 hasta 6 da una explicación detallada de la clasificación de la siguiente manera: Dada la gran cantidad de sensores que existen, se hace necesario clasificarlos para así poder entender mejor su naturaleza y funcionamiento. No obstante, esta tarea no es fácil, por lo que existen varios tipos de clasificaciones.

Atendiendo a su funcionamiento

- **Activos:** requieren de una fuente externa de energía de la que recibir alimentación de corriente para su funcionamiento.

- Pasivos: no requieren de una fuente de energía externa, sino que las propias condiciones medioambientales son suficientes para que funcionen según su cometido.

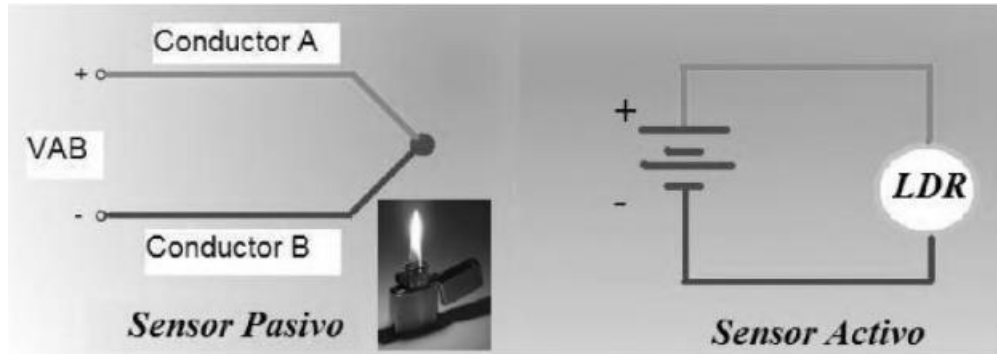


Figura 4 Clasificación atendiendo a su funcionamiento

Atendiendo a las señales que proporcionan

- Analógicos: proporcionan la información mediante una señal analógica (tensión, corriente), es decir, que pueden tomar infinidad de valores entre un mínimo y un máximo.
- Digitales: proporcionan la información mediante una señal digital que puede ser un "0" o un "1" lógicos, o bien con código de bits.

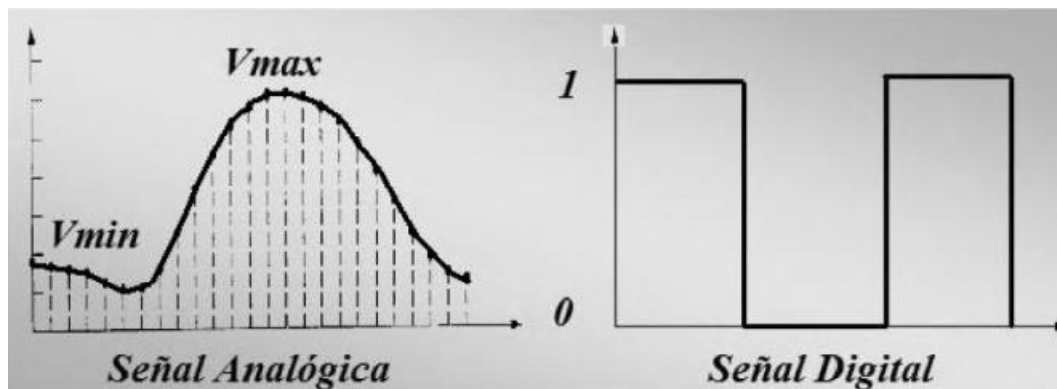


Figura 5 Clasificación atendiendo a la señal que proporcionan

Atendiendo a la naturaleza de su funcionamiento

- Posición: son aquellos que experimentan variaciones en función de la posición que ocupa en cada instante los elementos que lo componen.
- Fotoeléctricos: son aquellos que experimentan variaciones en función de la luz que incide sobre los mismos.

- Magnéticos: son aquellos que experimentan variaciones en función del campo magnético que les atraviesa.
- Temperatura: son aquellos que experimentan variaciones en función de la temperatura del lugar donde están ubicados.
- Humedad: son aquellos que experimentan variaciones en función del nivel de humedad existente en el medio en que se encuentran.
- Presión: son aquellos que experimentan variaciones en función de la presión a que son sometidos.
- Movimiento: son aquellos que experimentan variaciones en función de los movimientos a que son sometidos.
- Químicos: son aquellos que experimentan variaciones en función de los agentes químicos externos que pudieran incidir sobre ellos.



Figura 6 Clasificación atendiendo a la naturaleza de funcionamiento

Atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación

- Mecánicos: son aquellos que utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran.
- Resistivos: son aquellos que utilizan en su fabricación elementos resistivos.
- Capacitivos: son aquellos que utilizan en su fabricación condensadores.
- Inductivos: son aquellos que utilizan en su fabricación bobinas.
- Piezoeléctricos: son aquellos que utilizan en su fabricación cristales como el cuarzo.

- Semiconductores: son aquellos que utilizan en su fabricación semiconductores.

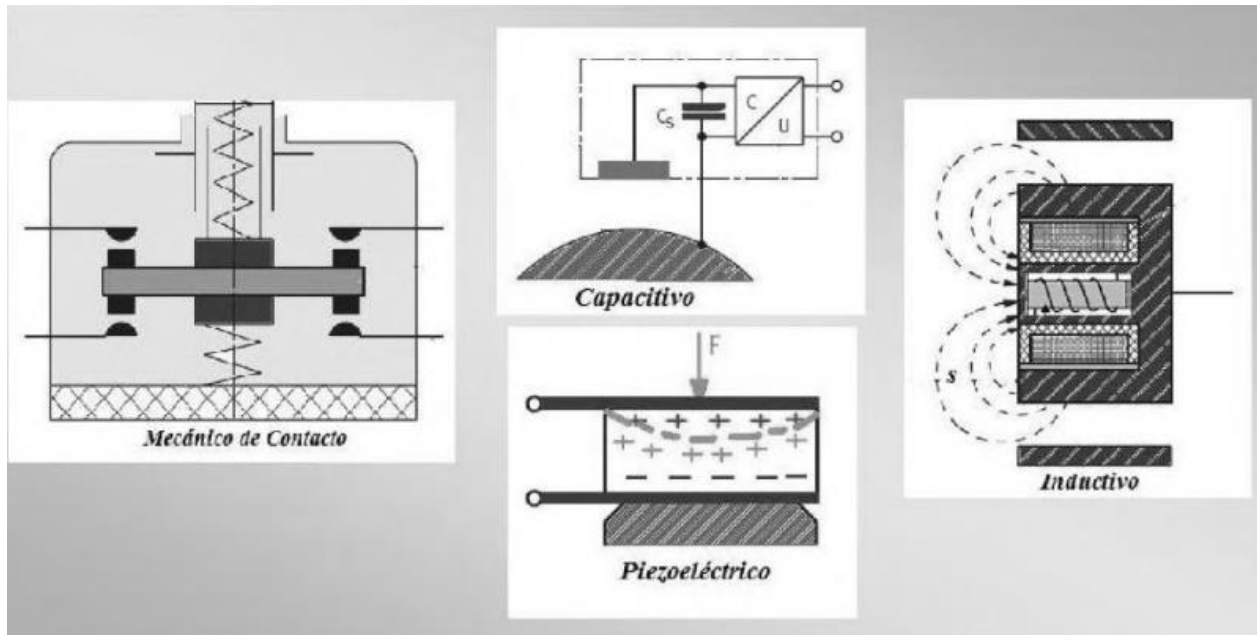


Figura 7 Sensores atendiendo a los elementos de fabricación

Características

Seguendo con Serna Ruiz & otros (2010) en las páginas 6-7 comenta: A la hora de elegir un sensor para una aplicación concreta, es necesario tener en cuenta determinados aspectos para obtener el mejor rendimiento dentro de la aplicación:

- Rapidez en la respuesta.
- Situación donde van a ser utilizados.
- Radio de acción.
- Fiabilidad en el funcionamiento.
- Tensiones de alimentación.
- Consumo de corriente.
- Márgenes de temperatura de funcionamiento.
- Posibles interferencias por agentes externos.
- Resistencia a la acción de agentes externos.
- Relación calidad/precio.

Pero también es necesario conocer a veces determinadas características técnicas que nos dan mucha información sobre la calidad del sensor:

- Resolución: es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Sensibilidad: es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Error: es la desviación de la medida proporcionada por el sensor respecto de la real. Se suele expresar en %.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Repetitividad: es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.

La siguiente tabla muestra el tipo de sensores que habitualmente más se utiliza en función de la aplicación.

Aplicación	Sensores
Iluminación	Foto resistivos (LDR), Fotoeléctricos
Temperatura	Termistores (PCT, NTC, Semiconductores)
Humedad	Resistivos, Capacitivos
Posición/Inclinación	Mecánicos, Resistivos, Acelerómetros, Magnéticos
Presencia	Magnéticos, Infrarrojos, Ultrasonidos
Distancia	Infrarrojos, Ultrasonidos
Presión	Piezoeléctricos, Resistivos
Caudal	Piezoeléctricos, Magnetoresistivos
Frío/Calor	Células Termoeléctricas (Peltier)
Químicos	Detectores de gas y humos

Tabla 5 Aplicaciones para sensores

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de investigación.

Hernández, Fernández y Baptista (2014), exponen al enfoque cuantitativo que se encarga de utilizar la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Por eso es por lo que se pretende realizar las diferentes evaluaciones donde se tiene como objetivo una mejora en la eficiencia, seguridad y calidad del producto de la planta de alimentos con el fin de que se genere una mejora económica para la producción de la planta.

Objetivo	Variable	Indicador	Definición conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Automatización del área de recibo.	Equipos con operación manual.	Cantidad de equipos con operación manual.	Equipos con control manual para el transporte de materias primas en el área de recibo de la planta de alimentos para animales.	Diseño de automatización para el área de recibo con el fin de tener control en tiempo real de todos los equipos de operación manual actualmente.	Seguridad operacional como sistema de control automático para el control de los equipos del área de recibo.
Eficiencia de operaciones en el transporte de materia prima.	Tiempo.	Tiempos de desplazamiento de operadores.	Tiempos perdidos por los operadores para el desplazamiento con el fin de	Propuesta de sistema automático enlazado con los equipos de la planta con el fin	Manejo de bitácora de tiempos perdidos para análisis de producción

			realizar maniobras manuales en los equipos del área.	de minimizar los tiempos perdidos por los desplazamientos de los operadores hacia los equipos manuales.	mediante sistema SCADA instalado en planta.
Propuesta de enlace entre equipos de proceso con el PLC y SCADA.	Funcionalidad del programa de acuerdo con las necesidades del proceso.	Cantidad de equipos y señales requeridas en el programa.	Propuesta de programación del PLC debe cumplir con las expectativas planteadas, para realizar el control de los equipos enlazados con el SCADA.	Propuesta de diagramas de control para arranque de rutas en el área de recibo, así como el enlace con el sistema SCADA de la planta aplicando diferentes formas de control en el sistema.	Controlador lógico programable, lógica de programación, programas de desarrollo de acuerdo con el sistema.
Uso de dispositivos críticos de seguridad.	Accidentes con equipos móviles de la planta.	Cantidad de accidentes o atrasos que ocurren por mal manejo de equipos.	Los equipos de seguridad recomendados para evitar o disminuir la cantidad de accidentes que pueden ocurrir	Recomendación de uso de dispositivos de seguridad para elevadores, transportadores y otros.	Sensores de seguridad de alineamiento de bandas, sensores de temperatura de rodamientos, sensores de

			o los problemas con los equipos de transporte de materia prima en la planta.		velocidad de ejes, entre otros.
Operación de interfaz para el control del operario.	Control total del usuario del área de recibo.	Manejo de operaciones de control desde el computador.	La interfaz será capaz de que el operario pueda arrancar o detener la ruta de alimentación y transporte de producto, además tendrá la información necesaria para poder tomar decisiones.	Proponer el diseño de interfaz gráfica enlazada con el PLC de la planta para control de visualización y fallas del sistema.	Sistema de visualización de planta, para control del operario comunicado con sistema de control.
Costo de equipos nuevos necesarios.	Inversión de equipos contra costos operativos actuales.	Comparación de costos para cálculo de retorno de inversión.	Cálculos de costos de Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno.	Desarrollo de cálculos de VAN, TIR y gastos actuales del proceso por pérdidas de tiempo operativas.	Costos de inversión, costos operativos.

Tabla 6 Tabla Matriz de conceptualización, investigación de enfoque cuantitativo Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL DISEÑO

Planteo del diseño

Según lo descrito en los apartados anteriores, este proyecto pretende realizar una mejora de rendimientos en una planta de alimentos balanceados para animales en el área de recibo, con enfoque en la eficiencia, seguridad y calidad del proceso, con el fin de no tener problemas en la preparación del producto final para venta al público.

En el anexo #1 se encontrará toda la distribución actual de la planta de alimentos, desde recibo de materia prima, pasando por el área de dosificación y mezcla, para finalizar en el área de empaque y despacho a granel de producto terminado.

Este proyecto se enfoca en diseñar un sistema de control para toda el área de recibo de materia prima, donde actualmente se encuentran sistemas con arranques manuales desde botoneras eléctricas, así como manipulables desde el sitio de forma manual por el operario, ocasionando tiempos perdidos y riesgos operativos porque no se tiene ninguna seguridad de que los equipos están trabajando correctamente. Esta área se representa en la siguiente figura.

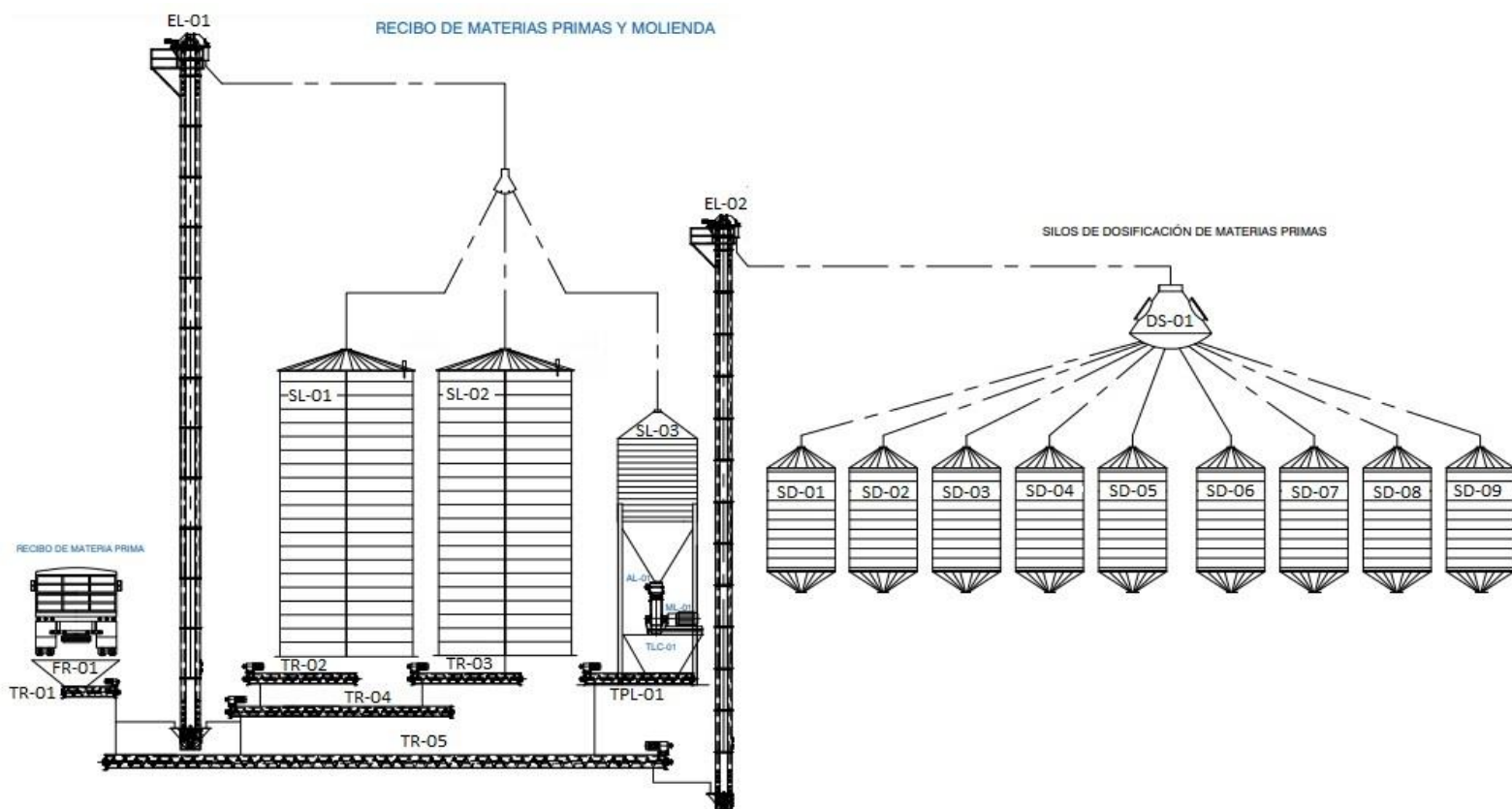


Figura 8 Diagrama de área de recibo Fuente: ALPHA TECH

Además, en los elevadores de cangilones, no se tienen elementos de seguridad como lo son sensores de atascamiento, velocidad, alineamiento de banda, temperatura de rodamientos, alineamiento de polea, sensores de bloqueo, así como en los transportadores de arrastre que no presentan sensores de velocidad, temperatura de cojinetes y desalineamiento de correa.

En el diseño del proyecto se pretende enlazar con dispositivos de seguridad que cuenten con cada uno de los sensores descritos anteriormente con el fin de que se eviten problemas en el proceso de la planta, también se tiene previsto la recomendación de uso de equipos que se operen de forma automática desde el PLC para tener mejor control de la operación del área de recibo. Por eso se va a utilizar el PLC instalado en la planta actualmente enlazado con dispositivos de seguridad en los elevadores y transportadores del área de recibo. Otro sistema de seguridad que se pretende enlazar es el equipo de control, son los disparos térmicos que se tienen en los arranques de cada uno de los motores de transportadores y elevadores en el área.

Los equipos de seguridad de los elevadores y transportadores se tiene previsto conectarlos por medio de comunicación Modbus TCP, con el fin de reducir el cableado y la cantidad de entradas y salidas necesarias en el sistema de control, por eso es por lo que se deben tener las condiciones necesarias en la planta para poder tener el control de todos estos dispositivos.

Además, se requieren sensores de nivel en cada uno de los silos de almacenamiento y de dosificación con la finalidad de indicar el momento de que se está llegando a su capacidad máxima o que se encuentra ocupado por alguna materia prima, dándole seguridad en el momento que se realiza el enrutamiento.

También se pretende recomendar un distribuidor de doce (12) bajantes para poder descargar producto a los nueve (9) silos actuales, dejando previsto tres (3) bajantes adicionales con el fin de pensar en futuras ampliaciones, este equipo tiene una operación giratoria de 360° donde en cada uno de los bajantes se encuentra un sensor de posición que indica el número de destino donde se encuentra ubicado, por eso se debe contemplar un motor y los doce (12) sensores de posición necesarios para su operación.

Otro equipo que se encuentra actualmente en planta es el cambiavía de tres (3) posiciones, el cual opera con dos (2) cilindros neumáticos con dos (2) sensores de posición en cada uno, donde se indican las posiciones como se describe en la siguiente imagen:

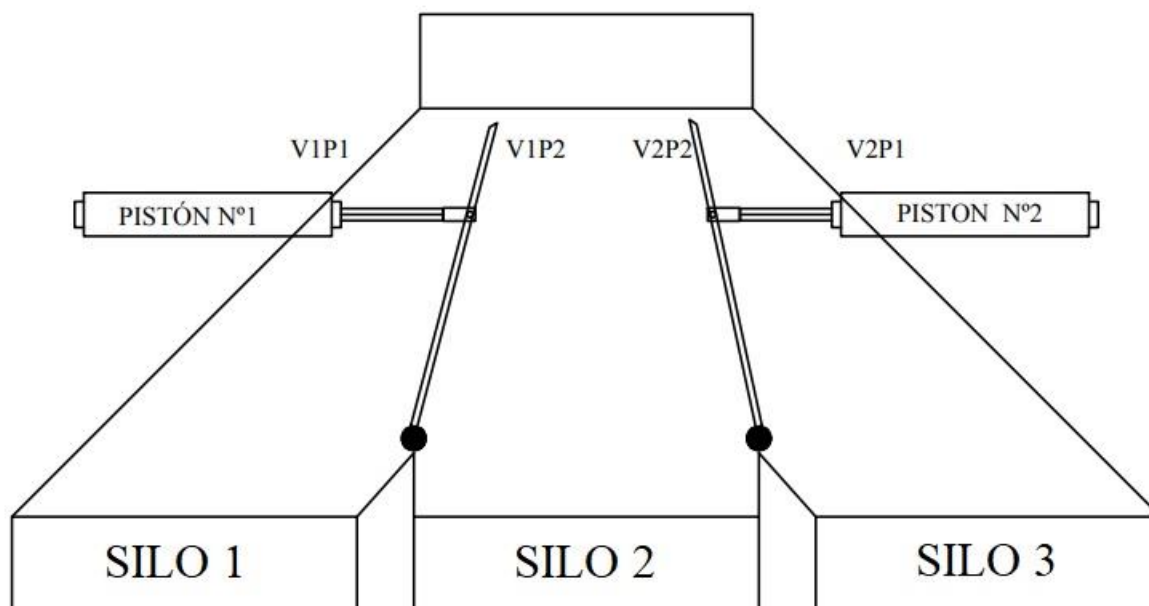


Figura 9 Sistema de cambiavía en 3 posiciones Fuente: ALPHA TECH

En la imagen se puede ver la ubicación de los pistones neumáticos y la nomenclatura de las válvulas se resume en la siguiente tabla:

Nombre de válvula	Abreviatura
Válvula 1 en posición 1	V1P1
Válvula 1 en posición 2	V1P2
Válvula 2 en posición 1	V2P1
Válvula 2 en posición 2	V2P2

Tabla 7 Nomenclatura de válvulas Fuente: Propia

De acuerdo con la nomenclatura de las válvulas se puede tener la referencia de las posiciones en la siguiente tabla de la verdad, donde 1 es la válvula activa y 0 es desactiva.

V1P1	V1P2	V2P1	V2P2	RUTA	DESTINO
0	1	1	0	Posición 1	SILO 1
1	0	1	0	Posición 2	SILO 2
1	0	0	1	Posición 3	SILO 3

Tabla 8 Descripción de posiciones de cambiavías Fuente: ALPHA TECH

En el anexo #2 se puede encontrar la información del sistema de cambiavías y con los detalles de conexión de campo en caso de que se requiera en la implementación de un proyecto como este.

En la siguiente figura se tiene de manera ilustrativa el enlace de los sistemas:

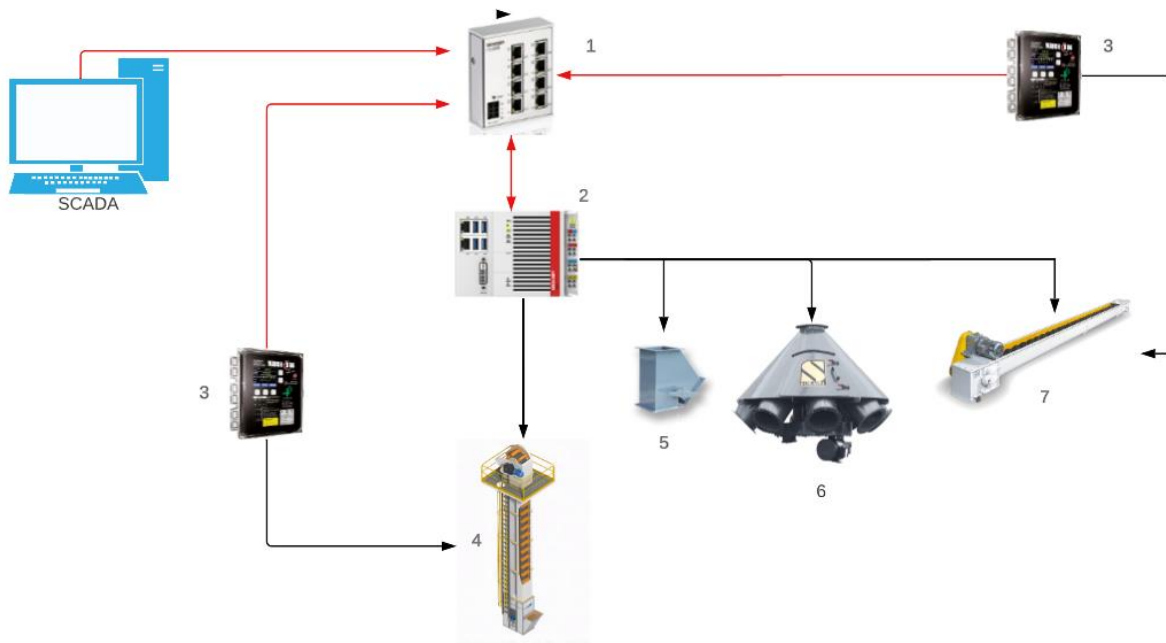


Figura 10 Diagrama de conexión de equipos de campo Fuente: Propia

En el diagrama de conexiones se tiene en color negro los enlaces eléctricos de campo para el manejo de señales de control, mientras que, de color rojo las conexiones de red con los dispositivos de campo para el control de los sensores en los elevadores y transportadores.

Además, se muestra la conexión de red que se debe tener con el computador donde va a estar instalado el sistema SCADA de la planta, en el cual los operadores tendrán el control total del área de recibo que se tiene previsto automatizar.

Cada equipo en la figura se describe de en la siguiente información:

1. Conmutador (Switch por su nombre en inglés) se encarga de realizar la red local de equipos, en este dispositivo se conectarán todos los equipos de campo que se comuniquen por algún protocolo con el PLC de la planta.
2. Controlador lógico programable (PLC) es el equipo que entregará las señales de enlace y será el cerebro del proceso, ya que por él debe pasar toda la información y las consultas de los equipos de campo, tendrá varios protocolos de comunicación de acuerdo con las características de cada uno de los equipos que se deben enlazar. Este PLC ya se

encuentra instalado en la planta, es de marca BECKHOFF modelo CX5130 por lo que todo el proyecto se debe limitar a este equipo.

3. Equipos de sensores de elevadores y transportadores de campo, se comunica vía modbus TCP/IP con el PLC de planta para el control y manejo de la información de las señales eléctricas que tienen conectadas desde el elevador y el transportador.
4. Elevador de cangilones, el cual tiene conectados los sensores de alineamiento, velocidad, temperatura entre otros, que van hacia el dispositivo #3 para las señales, también desde el PLC tiene que venir la señal de arranque del motor y por eso debe conectarse eléctricamente los arrancadores de los elevadores con el PLC de planta.
5. Cambiavías controlados 100% por parte del PLC de planta con el fin de dirigir de la mejor forma los materiales que van hacia la planta.
6. Distribuidor de doce (12) posiciones controlado por el PLC de planta, donde se deben utilizar sensores de posición de cada uno de los bajantes que cuenta, todas estas señales deben ir conectadas al PLC, además de la señal de arranque y paro del motor.
7. Transportador de materia prima, cuenta con las conexiones de los sensores de atascamiento, velocidad, temperatura, entre otros, estos sensores se conectan eléctricamente con el dispositivo #3, desde el PLC de planta se debe tener la señal de arranque y paro del transportador.

Cabe recordar que en la propuesta de conexiones se deben incluir todos los elevadores (dos en total) y transportadores (seis en total) del área de recibo que se describen más adelante, por lo que en la figura no están representados todos los equipos, también se debe tener en consideración la parte de instalación como es el cableado y la colocación de los sensores necesarios en la planta.

Por eso este diagrama ayuda a contemplar la cantidad de entradas y salidas que se deben contar en el PLC de planta, en caso de requerir una cantidad mayor de módulos a los que están actualmente conectados y se pueden tener que incluir los equipos que se requieren.

Diseño de sistema de control

Dadas las condiciones actuales de la operación del sistema como se ha planteado previamente, donde las operaciones de los equipos se basan en controles manuales se tiene previsto un arranque de la ruta de control de almacenamiento de manera automática, teniendo en cuenta

cuatro (4) posibles orígenes y doce (12) posibles destinos, los cuales pueden tener secciones de las rutas ocupadas por otras operaciones y limita el sistema a siempre tener una (1) ruta solamente descrita de la siguiente manera.

Los orígenes se pueden ver en la siguiente tabla con las nomenclaturas utilizadas en la planta para describir de una mejor manera los datos planteados.

Origen	Nomenclatura
Fosa de recibo	FR-01
Silo de almacenamiento de maíz N°1	SL-01
Silo de almacenamiento de maíz N°2	SL-02
Silo de alimentación de molienda	SL-03

Tabla 9 Resumen de orígenes Fuente: Propia

Mientras que los destinos se describen en la siguiente tabla con el fin de tener el orden necesario en el momento que se describa la operación del sistema.

Destino	Nomenclatura
Silo de almacenamiento de maíz N°1	SL-01
Silo de almacenamiento de maíz N°2	SL-02
Silo de alimentación de molienda	SL-03
Silo de dosificación N°1	SD-01
Silo de dosificación N°2	SD-02
Silo de dosificación N°3	SD-03
Silo de dosificación N°4	SD-04
Silo de dosificación N°5	SD-05
Silo de dosificación N°6	SD-06
Silo de dosificación N°7	SD-07
Silo de dosificación N°8	SD-08
Silo de dosificación N°9	SD-09

Tabla 10 Resumen de destinos Fuente: Propia

De esta forma la ruta de arranque debe considerar que los otros elementos como lo es el cambiavía, los elevadores, los transportadores y el distribuidor se encuentren encendidos o en posición donde debe colocar la caída de los bajantes de materia prima.

Estos elementos que no se encuentran entre los orígenes o destinos se describen en la siguiente tabla para validar el uso de abreviaciones en el manejo de los datos.

Elemento	Nomenclatura
Transportador de fosa de recibo	TR-01
Transportador de descarga de silo SL-01	TR-02
Transportador de descarga de silo SL-02	TR-03
Transportador de descarga SL-01 y SL-02	TR-04
Transportador hacia silos de dosificación	TR-05
Elevador de recibo de materia prima	EL-01
Sensor de alto nivel SL-01	SEN-01
Sensor de alto nivel SL-02	SEN-02
Cambia vías de silos de tres vías	CV-01
Distribuidor de silos de dosificación	DS-01
Molino de maíz	ML-01
Transportador tolva de maíz molido plenum	TPL-01
Elevador de maíz molido	EL-02

Tabla 11 Nomenclatura de elementos de área de recibo Fuente: Propia

Con el conocimiento de cada uno de los elementos del área de recibo se puede describir el proceso de arranque y paro de ruta de la siguiente manera.

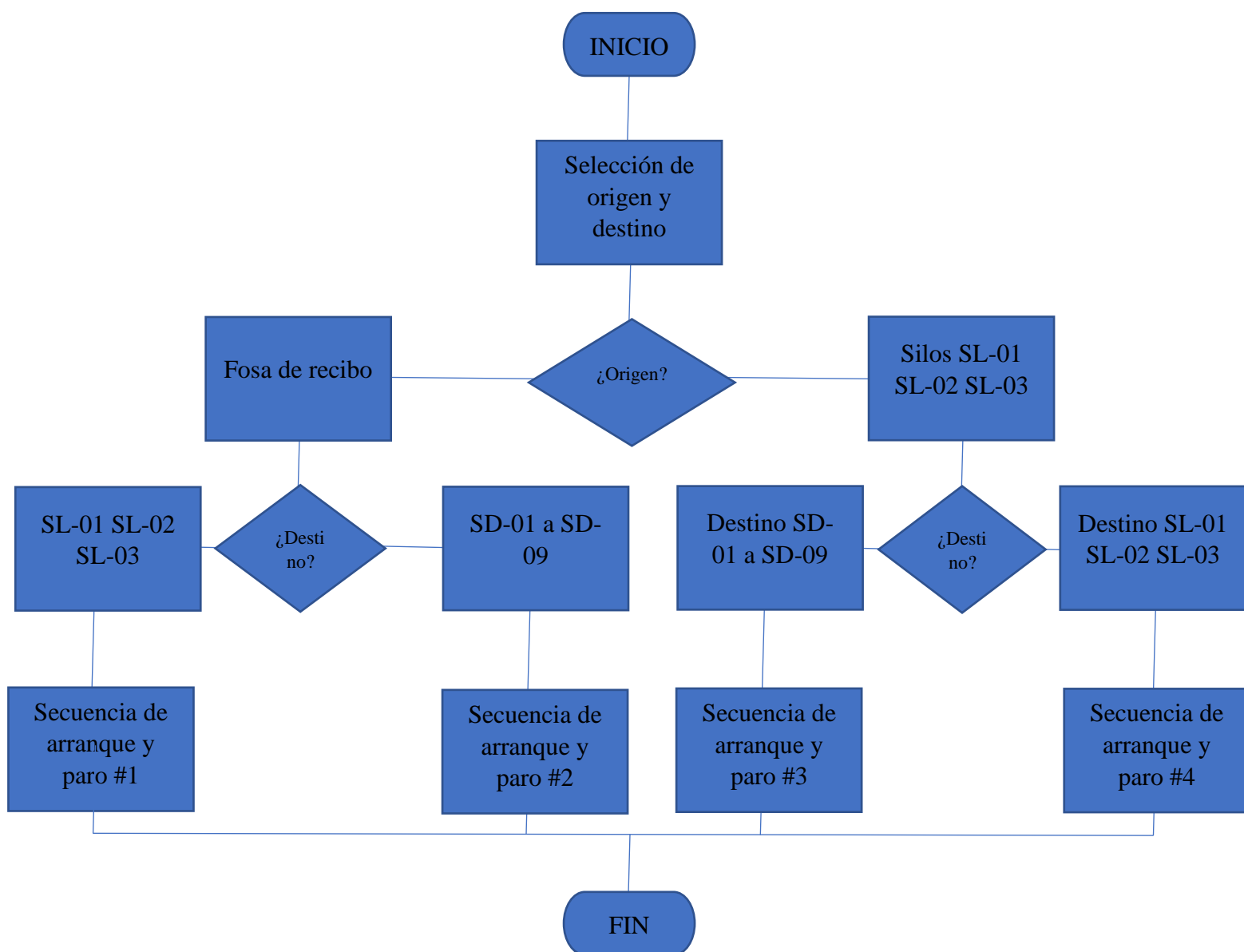


Figura 11 Diagrama de secuencias Fuente: Propia

En las secuencias de arranque se debe hacer el escaneo o el control desde el destino hasta el origen para poder evitar atascamientos de material o de elementos, de igual forma la secuencia de paro o limpieza de línea de proceso se debe realizar desde el origen hasta el destino, esto con la finalidad de no dejar la línea contaminada por el material que se encuentra en traslado.

A continuación, se describe cada una de las secuencias:

- Secuencia de arranque y paro #1

Arranque: El cambiavías CV-01 debe encontrarse en la posición destino, o debe hacer la función de movimiento hacia el silo destino, se debe validar que no se tenga ninguno de los sensores de alto nivel para evitar atascamientos, en caso de contar con manejo de información en silos, la materia prima que se tiene que descargar debe coincidir con el material que se tiene almacenado, o en su defecto el silo destino debe encontrarse vacío, con esta información validada se procede a encender el elevador EL-01 y luego el transportador TR-01.

Esta secuencia se puede describir en el siguiente diagrama:

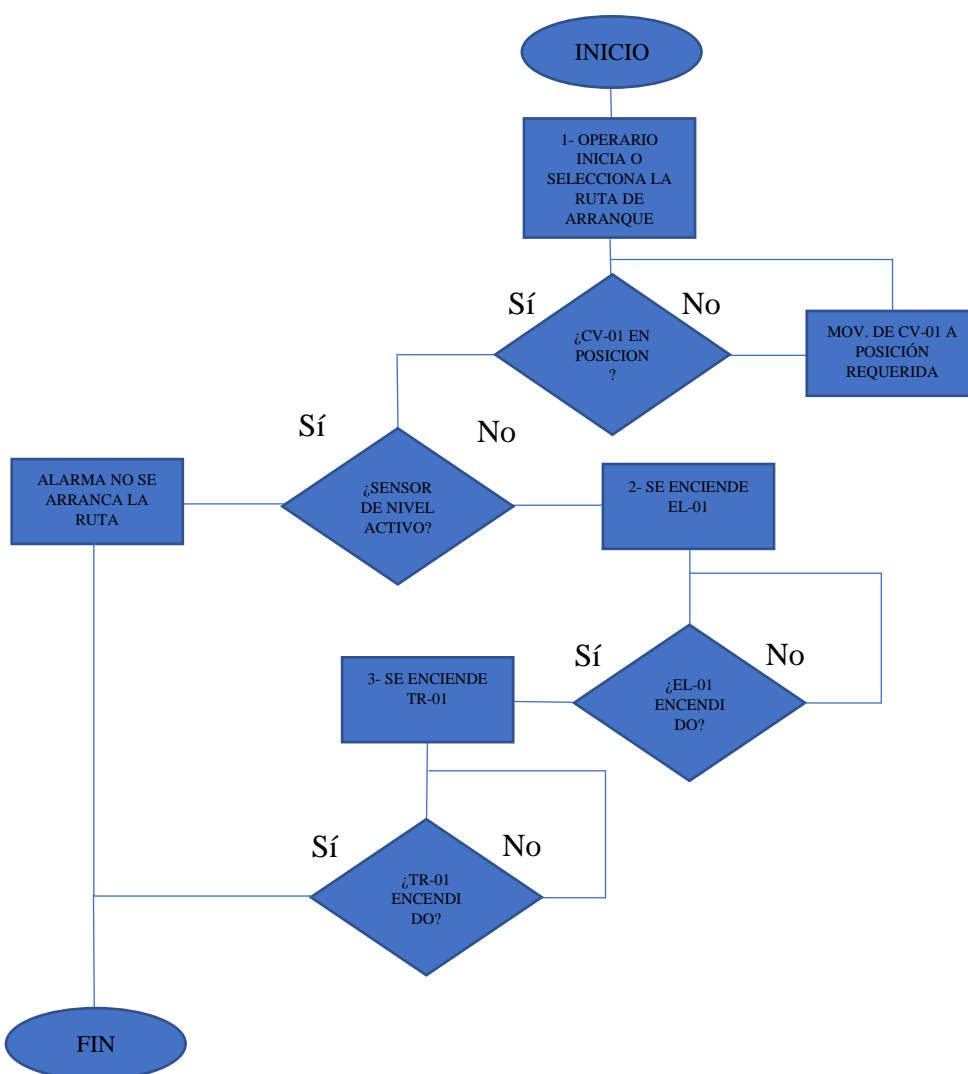


Figura 12 Secuencia de arranque N°1 Fuente: Propia

Paro: La secuencia de paro en este caso se define en el momento que el operador requiera terminar de enviar material a los silos de almacenamiento o en el momento que los sensores de nivel envíen una alerta de que se está llegando a la máxima capacidad, y se inicia el tiempo de limpieza y se procede a detener el transportador TR-01, luego se debe iniciar el tiempo de limpieza y detener el elevador EL-01 y de esta forma finaliza la ruta.

Esta secuencia se puede describir de la siguiente manera en un diagrama.

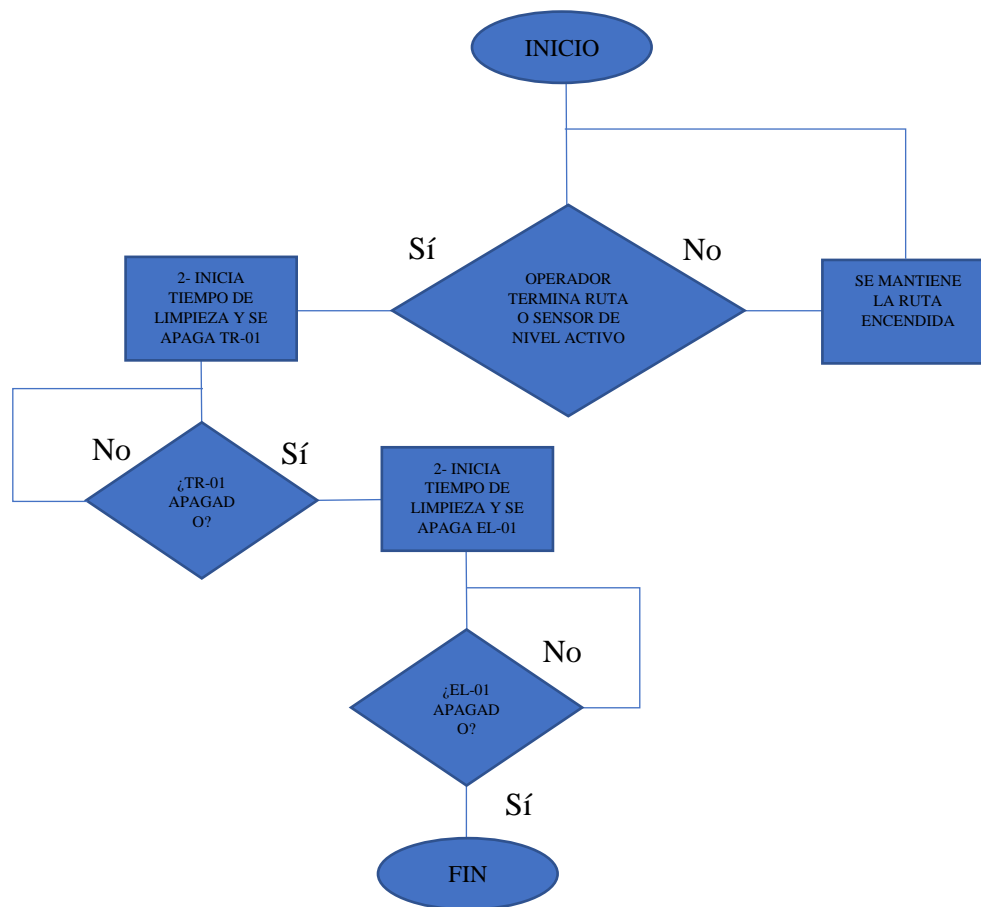


Figura 13 Secuencia de paro N°1 Fuente: Propia

- Secuencia de arranque y paro #2

Arranque: El distribuidor DS-01 se debe encontrar en el silo de dosificación de destino realizando el movimiento giratorio del motor y recibiendo la confirmación de posición de este, también se valida que no se tenga la señal de alto nivel, y que en la tolva se tenga la materia prima que se pretende trasegar. Seguidamente se debe encender el elevador EL-02, con la confirmación

de arranque, luego se debe arrancar el transportador TR-05 y finalmente se enciende el transportador TR-01.

Esta secuencia de arranque se explica en el siguiente diagrama:

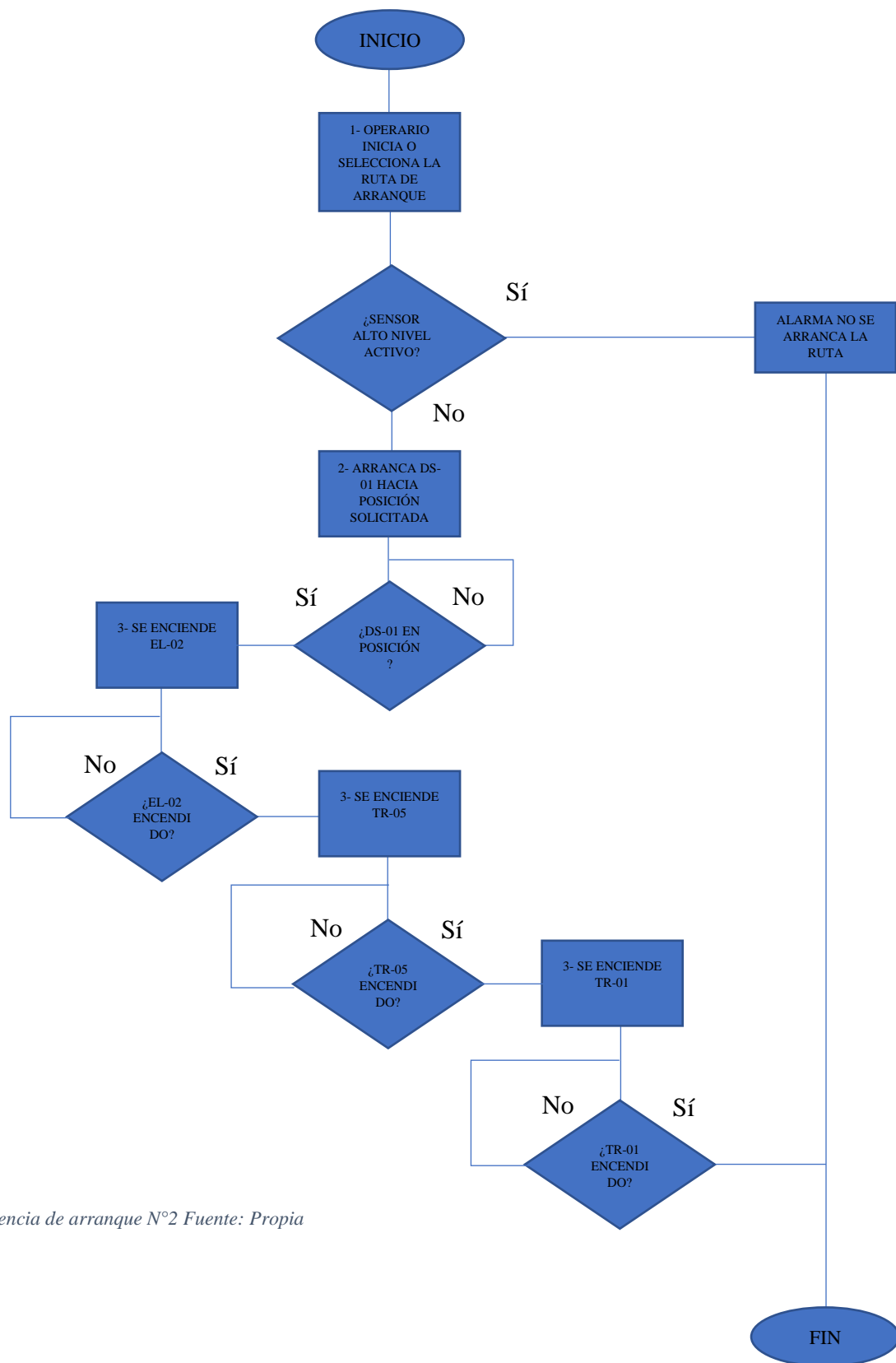


Figura 14 Secuencia de arranque N°2 Fuente: Propia

Paro: En el momento que se deba detener el sistema, la secuencia debe iniciar con detener el transportador TR-01 luego se toma el tiempo de limpieza del transportador TR-05 y se detiene, luego se procede detener el elevador EL-02 y ya queda detenida la ruta.

La secuencia de paro #2 se describe en el siguiente diagrama:

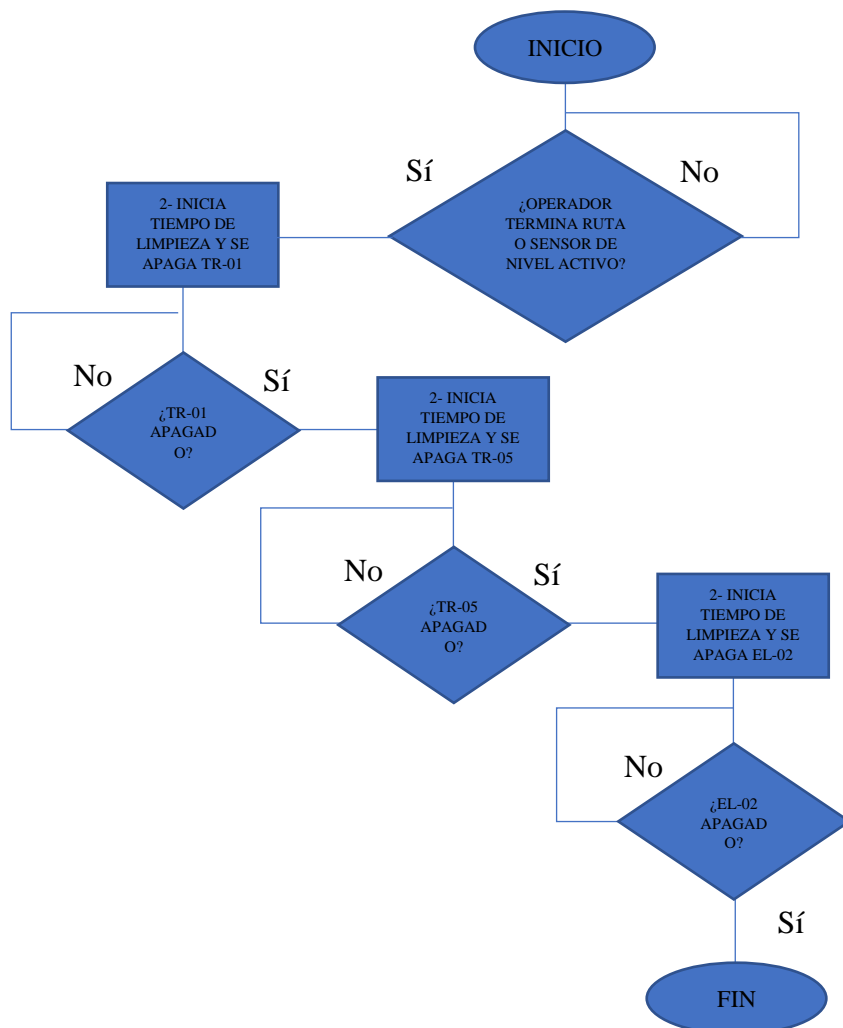


Figura 15 Secuencia de paro N°2 Fuente: Propia

- Secuencia de arranque y paro #3

Arranque: De igual forma con la secuencia #2 se debe iniciar posicionando el distribuidor DS-01 en la posición de destino, en el momento que se tenga la confirmación de la posición, se procede a encender el elevador EL-02, con la confirmación de arranque del elevador se debe encender el transportador TR-05, con este equipo en funcionamiento se tendrá que arrancar de

acuerdo con el silo de almacenamiento de origen SL-01, SL-02 y SL-03 los transportadores TR-04 y TR-02 en el caso del silo SL-01, para el silo SL-02 se deben encender los transportadores TR-04 y TR-03, en el caso del silo SL-03 se debe encender el transportador TPL-01.

En el siguiente diagrama se puede ver la descripción de esta secuencia:

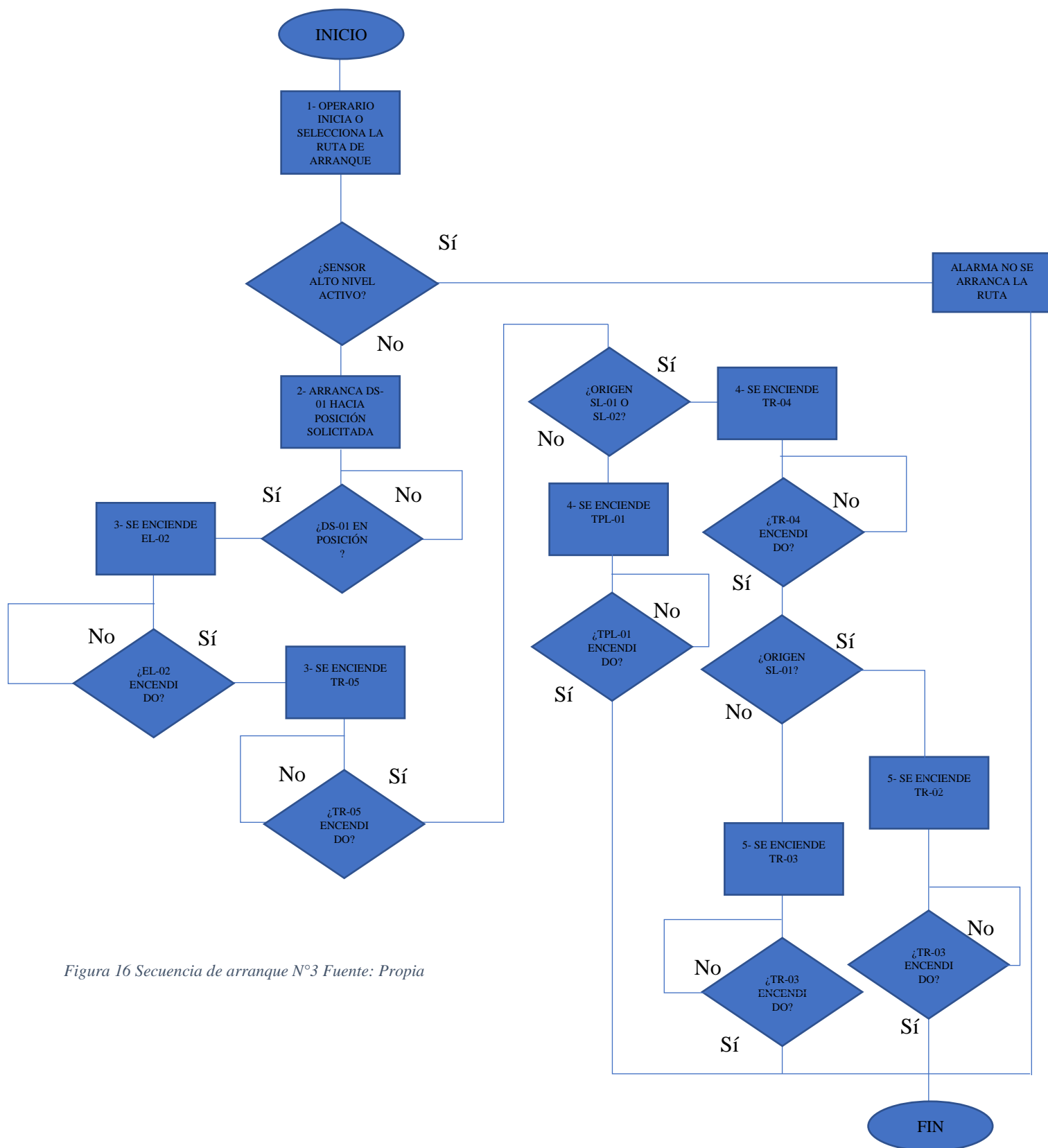


Figura 16 Secuencia de arranque N°3 Fuente: Propia

Paro: Al tener tres posibles orígenes el paro de la ruta es similar a la parte final del arranque, donde de acuerdo con los silos de almacenamiento se debe iniciar a detener los equipos, en el silo SL-01 se debe detener el transportador TR-02, luego el TR-04, respecto al SL-02 se deben apagar los transportadores TR-03 y TR-04, para el silo SL-03 se debe detener el transportador TPL-01, con cada uno de los transportadores detenidos de acuerdo con los silos se debe continuar deteniendo el transportador TR-05 y se finaliza con el elevador EL-02, en cada uno de los elementos o equipos de esta ruta se debe cumplir cada uno de los tiempos de limpieza para poder detener el proceso de forma correcta para no tener problemas de atascamientos de los equipos.

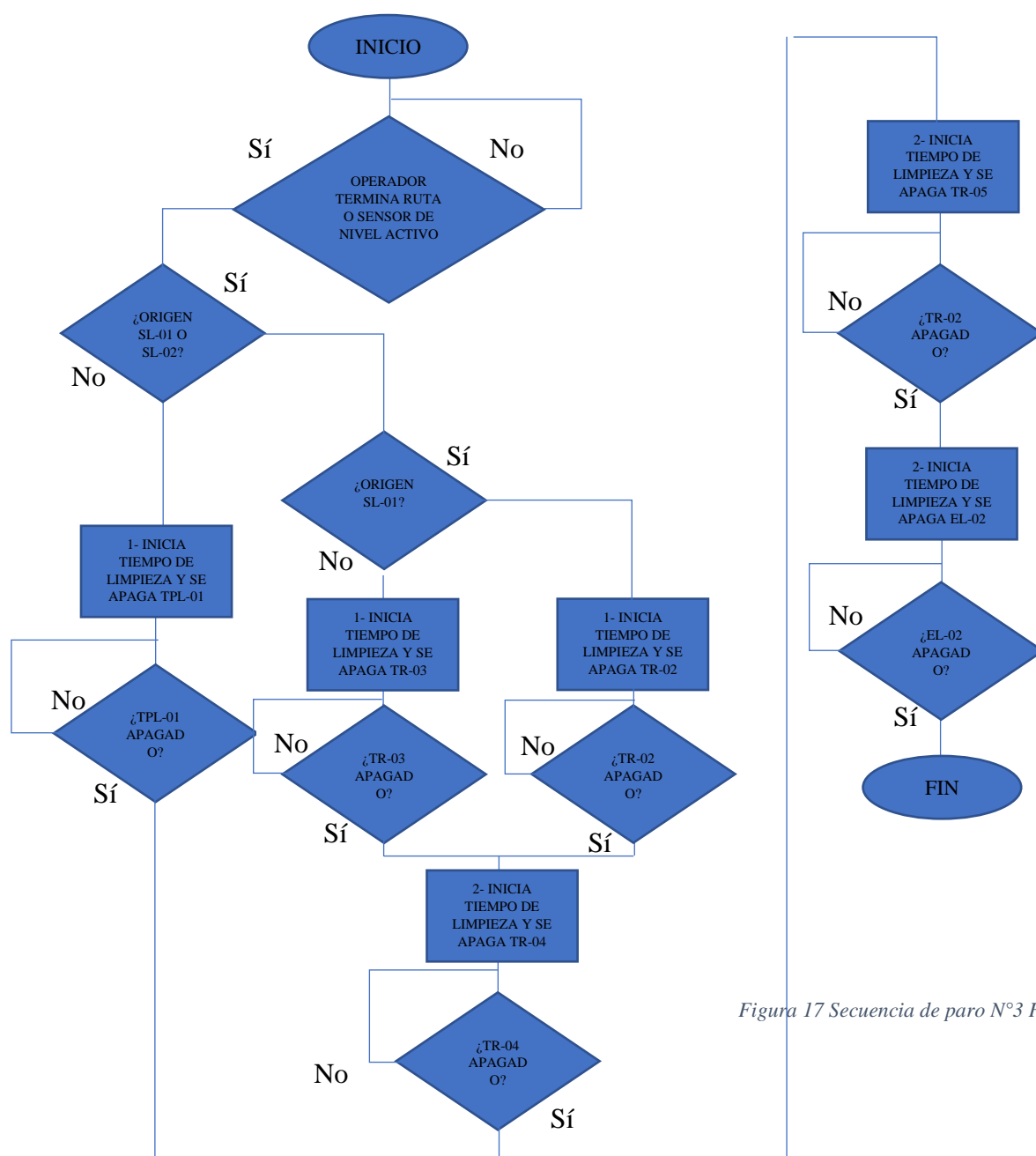


Figura 17 Secuencia de paro N°3 Fuente: Propia

- Secuencia de arranque y paro #4

Arranque: Se debe tener en posición el cambiavía CV-01 de acuerdo con el destino seleccionado como en la secuencia #1, se valida la información de niveles del silo y de material en silo, se enciende el elevador EL-01, y se debe continuar encendiendo el transportador TR-04, dependiendo del silo de almacenamiento que se va a usar y se procede a encender el transportador TR-02 en el caso del silo SL-01, o el transportador TR-03 en el silo SL-02.

Esta secuencia la describimos en el siguiente diagrama:

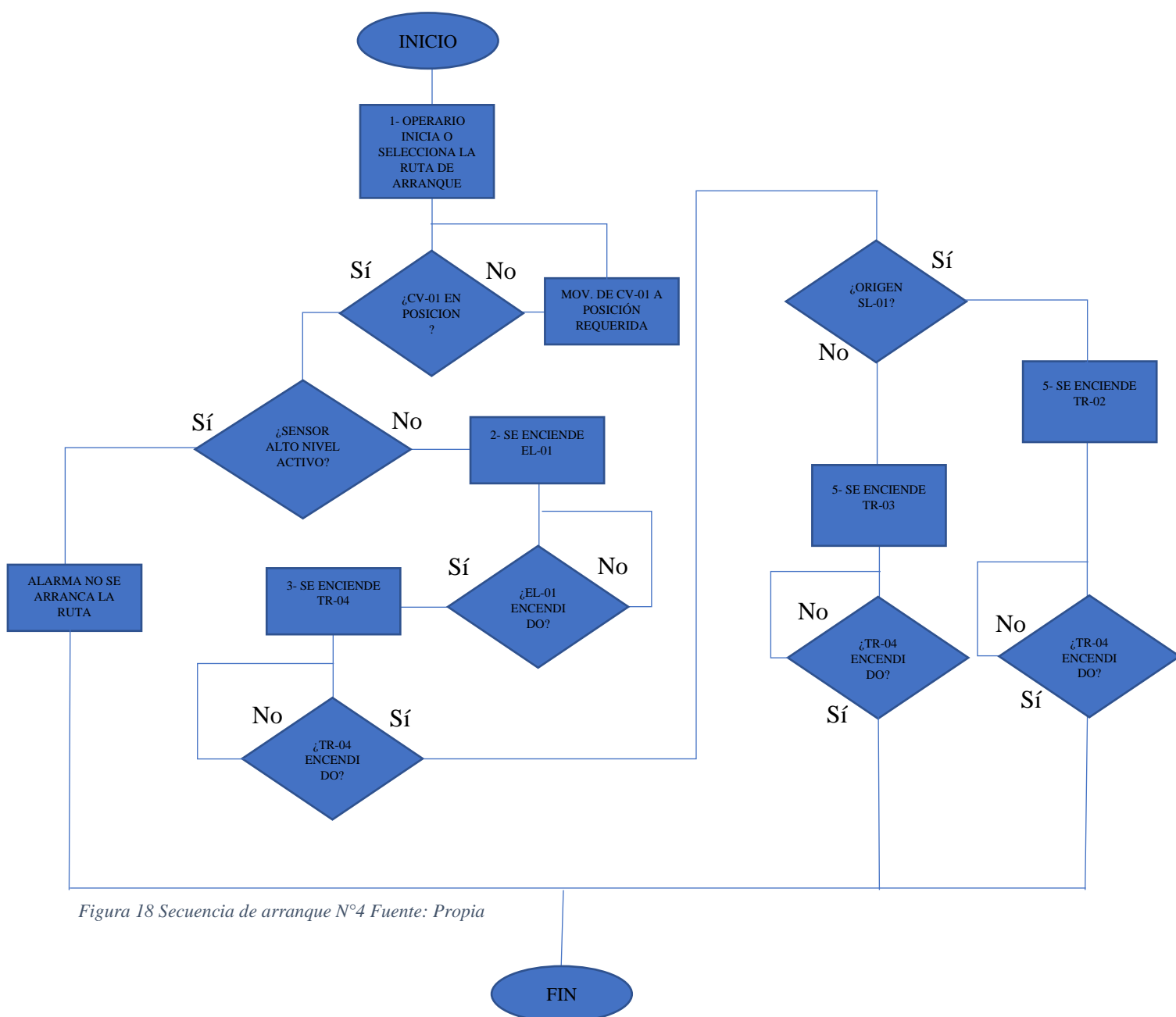


Figura 18 Secuencia de arranque N°4 Fuente: Propia

Paro: La secuencia de apagado o detener la ruta se inicia en los transportadores TR-02 y TR-03 de acuerdo con el que se encuentre en uso, luego se debe de cumplir el tiempo de limpieza y apagar el transportador TR-04, para poder continuar con el elevador EL-01 y de esta forma terminar el tiempo de limpieza de cada elemento y finalizar con la ruta seleccionada.

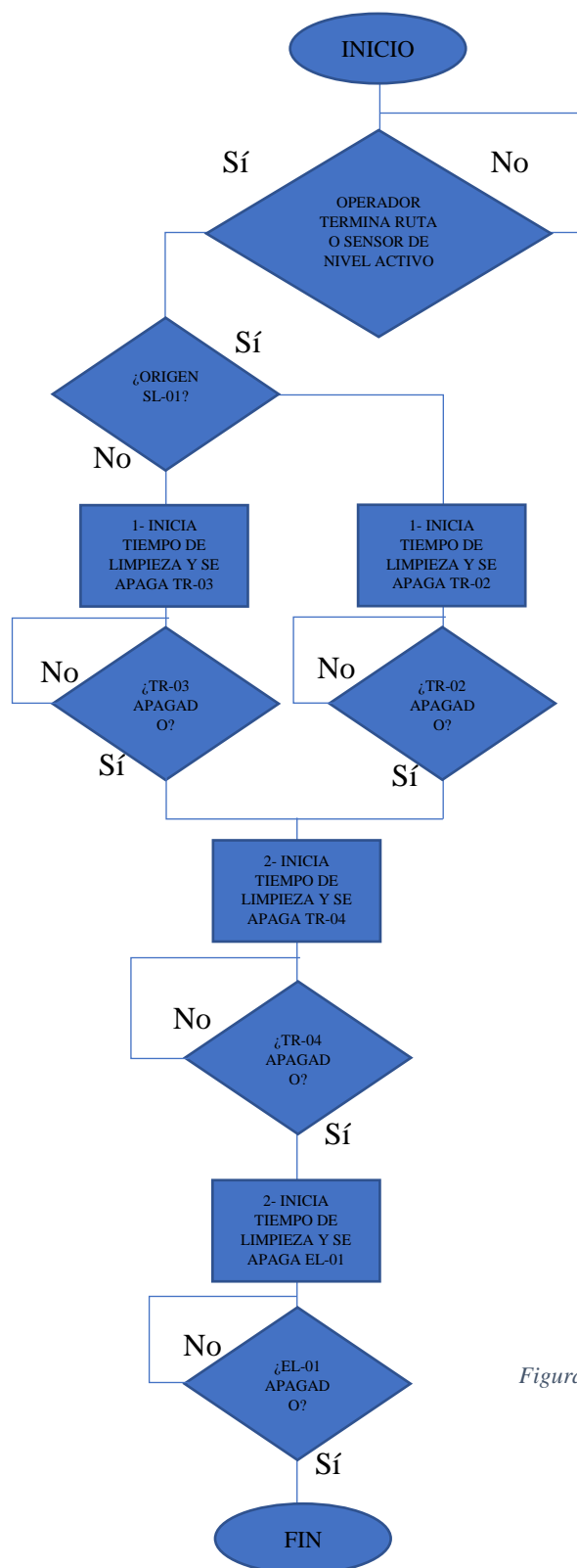


Figura 19 Secuencia de arranque N°4 Fuente: Propia

Para cumplir con cada una de estas secuencias y poder desarrollar el diseño del sistema se deben contemplar la siguiente cantidad de entradas, de acuerdo con los equipos que se tienen.

Cantidad de entradas	Descripción	Equipo
1	Confirmación de arranque TR-01	Transportador de fosa de recibo
2	Disparo térmico TR-01	
3	Confirmación de arranque TR-02	Transportador de descarga de silo SL-01
4	Disparo térmico TR-02	
5	Confirmación de arranque TR-03	Transportador de descarga de silo SL-02
6	Disparo térmico TR-03	
7	Confirmación de arranque TR-04	Transportador de descarga de silo SL-01 y SL-02
8	Disparo térmico TR-04	
9	Confirmación de arranque TR-05	Transportador hacia silos de dosificación
10	Disparo térmico TR-05	
11	Confirmación de arranque TPL-01	Transportador tolva de maíz molido plenum
12	Disparo térmico TPL-01	
13	Confirmación de arranque EL-01	Elevador de recibo de materias primas
14	Disparo térmico EL-01	
15	Confirmación de arranque EL-02	Elevador de maíz molido
16	Disparo térmico EL-02	
17	Cilindro #1 posición 1 V1P1	Cambia vías 01
18	Cilindro #1 posición 2 V1P2	
19	Cilindro #2 posición 1 V2P1	

20	Cilindro #2 posición 2 V2P2	
21	Confirmación de arranque DS-01	Distribuidor 01
22	DS-01 Posición 1	
23	DS-01 Posición 2	
24	DS-01 Posición 3	
25	DS-01 Posición 4	
26	DS-01 Posición 5	
27	DS-01 Posición 6	
28	DS-01 Posición 7	
29	DS-01 Posición 8	
30	DS-01 Posición 9	
31	Disparo térmico DS-01	
32	Sensor alto nivel SL-01	Silo de almacenamiento N°1
33	Sensor alto nivel SL-02	Silo de almacenamiento N°2
34	Sensor alto nivel SL-03	Silo de alimentación de molienda
35	Sensor alto nivel SD-01	Silo de dosificación de materias primas 01
36	Sensor alto nivel SD-02	Silo de dosificación de materias primas 02
37	Sensor alto nivel SD-03	Silo de dosificación de materias primas 03
38	Sensor alto nivel SD-04	Silo de dosificación de materias primas 04
39	Sensor alto nivel SD-05	Silo de dosificación de materias primas 05
40	Sensor alto nivel SD-06	Silo de dosificación de materias primas 06

41	Sensor alto nivel SD-07	Silo de dosificación de materias primas 07
42	Sensor alto nivel SD-08	Silo de dosificación de materias primas 08
43	Sensor alto nivel SD-09	Silo de dosificación de materias primas 09

Tabla 12 Entradas a sistema de control Fuente Propia

Las salidas necesarias en el sistema se describen en la siguiente tabla:

Cantidad de salidas	Descripción	Equipo
1	Arranque de TR-01	Transportador de fosa de recibo
2	Arranque de TR-02	Transportador de descarga de silo SL-01
3	Arranque de TR-03	Transportador de descarga de silo SL-02
4	Arranque de TR-04	Transportador de descarga de SL-01 y SL-02
5	Arranque de TR-05	Transportador hacia silos de dosificación
6	Arranque de TPL-01	Transportador tolva de maíz molido plenum
7	Arranque EL-01	Elevador de recibo de materias primas
8	Arranque EL-02	Elevador de maíz molido
9	Solenoide 1 cilindro #1	Cambia vías 01
10	Solenoide 2 cilindro #1	
11	Solenoide 1 cilindro #2	
12	Solenoide 2 cilindro #2	
13	Arranque DS-01	Distribuidor 01

Tabla 13 Salidas del sistema de control Fuente Propia

En el manejo y control de estas señales se debe usar la red Ethercat de equipos instalada actualmente en la planta, para el enlace de dispositivos en el PLC con el fin de que todos los equipos necesarios sean cubiertos, también en caso de ser requerido para reducir costos de cableados se puede tener en cuenta utilizar un punto común de enlace de entradas y salidas para conectarlo en la red Ethercat, donde se necesitaría solamente un cable de comunicación para poder continuar con el bus de módulos del PLC.

Actualmente la conexión de esta red Ethercat se encuentra enlazada con el PLC marca BECKHOFF modelo CX5130, configurado con Windows 10 en el equipo, el cual maneja para su programación la plataforma TWINCAT 3.

En la siguiente imagen se ve la conexión de los equipos en la planta actualmente con la red Ethercat y el PLC que se tiene instalado.

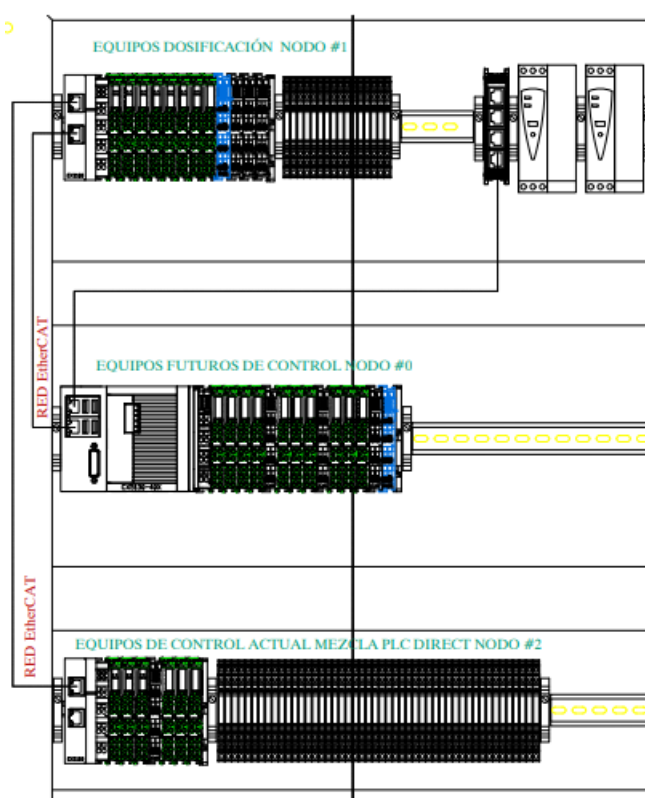


Figura 20 Diagrama de red Ethercat Fuente: ALPHA TECH

También en la imagen se tiene la conexión a la red de planta y el punto de conexión para poder enlazar los equipos de seguridad de los elevadores y transportadores que se tienen previstos recomendar para la instalación.

Actualmente en el sitio se cuenta con un sistema de visualización completo donde el operario tiene el control del área de dosificación, la aplicación que se está usando es AVEVA InTouch por lo que todas las señales nuevas que se conecten al PLC ya instalado, además de los procesos que realice el operario se debe contemplar la integración con el sistema actual.

En el PLC se puede manejar los datos de información de tipo cadena (string), donde se pueden manejar datos alfanuméricos de acuerdo con la información que se tiene en las materias primas de la planta, de esta forma también se podrá publicar en el sistema de SCADA de la planta de manera informativa para el operario.

Para los elementos de seguridad de los elevadores y transportadores se puede recomendar equipos de la marca 4B Elevators con sus equipos Watch Dog Super Elite; en adelante se mencionarán como Watch Dog; los cuales tiene conexión de múltiples sensores con el fin de manejar la información y los estados de los equipos.

Los equipos Watch Dog se podrán conectar por medio de Modbus TCP para tener los datos necesarios en el PLC para el control de las seguridades y poder realizar los paros que se requieran, con el fin de que se vayan a evitar inconvenientes mayores.

En el caso de los elevadores se tendrán en cuenta los siguientes sensores para el control de seguridad:

Alarma	Sensor	Descripción
Desalineación de la correa	Touchswitch	Interruptor de contacto electromecánico de fin de fin de carrera sin piezas móviles, que detecta problemas de paso y alineación.
Bloqueo	Binswitch	Sensor de capacitancia que se puede detectar bloqueos en surtidores, entradas y salidas
Temperatura de los cojinetes y la superficie	Series ADB y WDB	<ol style="list-style-type: none"> 1. Termistor NTC de montaje directo y que se permite engrasar sin desmontaje, con puntos de disparo ajustables por el usuario. La serie ADB tiene sondas de profundidad ajustables. 2. Termistor NTC de montaje en superficie, diseñado para atornillarlo en la carcasa de cojinetes o de la caja de engranajes
Supervisión de velocidad	Sensor de velocidad	Sensor de inducción de uso común en la industria para detectar el patinaje de la correa.

Tabla 14 Descripción de sensores para elevadores Fuente: 4B Elevators

Mientras que en los transportadores se pueden colocar diferentes sensores que se describen a continuación:

Alarma	Sensor	Descripción
Supervisión de velocidad	Sensor de velocidad	Sensor de inducción de uso común en la industria para detectar el patinaje de la correa.
Temperatura de los cojinetes y la superficie	Series ADB y WDB	<ol style="list-style-type: none"> 1. Termistor NTC de montaje directo y que se permite engrasar sin desmontaje, con puntos de disparo ajustables por el usuario. La serie ADB tiene sondas de profundidad ajustables. 2. Termistor NTC de montaje en superficie, diseñado para atornillarlo en la carcasa de cojinetes o de la caja de engranajes
Desalineación de la correa	Touchswitch	Interruptor de contacto electromecánico de fin de carrera sin piezas móviles, que detecta problemas de paso y alineación.

Tabla 15 Sensores para transportadores Fuente: 4B Elevators

En el anexo #3 y #4 se podrán encontrar las referencias de ubicaciones de los sensores con las descripciones respectivas para cada uno de ellos con el fin de tener un orden de instalación y funcionamiento.

Todas las señales de estos equipos se conectarán por medio de un mapeo Modbus TCP, donde en un registro se transmitirá la codificación de cada una de las alarmas.

El registro que se debe utilizar es el número 39 donde tendrá una serie de valores que indican cada una de las alarmas, en el anexo #5 se encuentran todas las alarmas que se pueden tener. Todos estos registros son de tipo entero, donde los más importantes se describen en la siguiente tabla:

Valor	Estado
0	Sin alarmas
1	Velocidad
2	Sensor de alineamiento superior
3	Sensor de alineamiento inferior
35	Aceleración

Tabla 16 Alarmas registro 39 Fuente: 4B Elevators

También en el registro #40 muestra las condiciones de alarma que se describen en el anexo #6, en el cual se indican las señales de velocidad y temperatura que pueden tener en los equipos en el momento de que estén en alarma.

En el sistema de visualización se deben realizar las modificaciones necesarias, donde el usuario podrá seleccionar un origen y un destino, con el fin de que el PLC genere la secuencia de arranque, desde un menú debe tener la opción de arrancar, preparar, detener, purgar (limpieza) y finalizar la ruta, de esta forma el sistema de control va a activar los elementos requeridos y los debe colocar en uso para evitar problemas de con otras rutas.

En esta parte, el desarrollo del SCADA debe tener en cuenta que las operaciones que se realicen sean sencillas y fáciles de aprender para el usuario, donde su intervención sea lo menor posible.

También se debe tener en cuenta un respaldo manual de arranque de los elementos del área de recibo, donde el usuario final pueda hacer métodos de limpieza y de arranque de los equipos.

Estas funciones también servirán para el personal de mantenimiento, al momento de hacer revisiones de inconvenientes o pruebas luego de trabajos correctivos que se realicen en la planta.

Además, con el fin de que la interacción de los operadores sea sencilla, se pueden utilizar las siguientes señales para definir el origen y destino de las rutas.



Botón propuesto	Descripción
	Seleccionar equipo como origen de ruta
	Seleccionar equipo destino de la ruta

Tabla 17 Propuesta de botones de origen y destino Fuente: Propia

Con la selección del origen y destino, las tolvas o silos deben de estar identificadas en toda la interfaz gráfica donde se puede tener una idea de todo el enrutamiento realizado. Las tolvas se pueden tener de referencia como lo muestra la siguiente imagen:

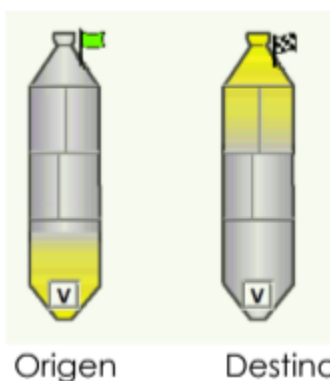


Figura 21 Tolvas seleccionadas como origen y destino Fuente: Propia

Después de seleccionar el origen y destino, se debe preparar la ruta donde debe ser demarcada con un color verde para que se pueda hacer seguimiento de los equipos que se deben arrancar, de esta forma los usuarios del sistema podrán determinar si la ruta es correcta y en este punto selecciona que arranque el proceso de acuerdo con las secuencias de arranque descritas anteriormente en el PLC.

En los equipos también se deben colocar un menú general para diferentes funciones como la siguiente imagen.



Figura 22 Menú general de funciones de equipos Fuente: Propia

En la siguiente tabla se especifica cada una de las funciones del menú general.





Botón	Descripción
	Modo de arranque manual donde se debe desplegar un menú de manipulación del usuario
	Menú de configuración del equipo que se está monitoreando
	Información de estados de entradas y salidas de los equipos.
	Cierre de menú general

Tabla 18 Funcionamiento de cada botón del menú general Fuente: Propia

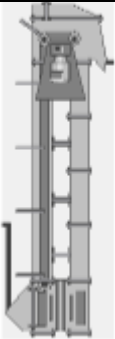
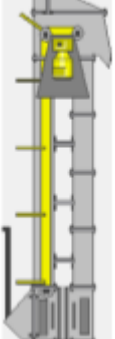
Cada uno de los elementos del menú general tendrán que desplegar una pantalla para la operación de los equipos. En el modo de arranque se puede realizar una pantalla similar a la siguiente:



Figura 23 Menú de arranque manual de equipos Fuente: Propia

En este manejo de datos informa el estado de cada uno de los elementos conectados a un elevador, además de las cargas que se tienen y los puntos de conexión, también la fecha y hora de la última activación realizada con el fin de tener previsto la revisión de errores o problemas que se sufran con los equipos.

También para el manejo de los elementos como lo son los elevadores y transportadores es recomendable utilizar colores intuitivos para el usuario, donde de una forma tenga conocimiento básico de cómo operan. En la siguiente tabla se describen cada uno de los elementos donde se visualizan los elevadores, pero en los transportadores se deben utilizar los mismos principios de operación.

Visualización	Estado
	<p>Disponible para arrancar automático o manual</p>
	<p>Proceso de cambio de estado, para arrancar o detenerse</p>

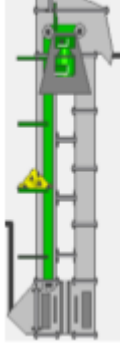
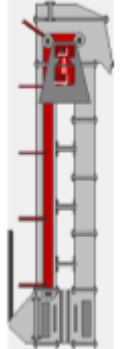
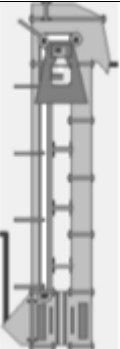
	<p>Sistema encendido y con movimiento del dispositivo para información al usuario</p>
	<p>Alarmado, estado en secuencia de parpadeo donde se pretende ser llamativo para el operador.</p>
	<p>Advertencia, también parpadeo donde no afecta su operación, pero algún dispositivo crítico puede estar fallando.</p>

Tabla 19 Estado y animación de los elementos Fuente: Propia

En el caso de que algún elemento se encuentre en operación manual, por temas de revisión de funcionamiento o mantenimiento, deben de colocarse un mensaje informativo de que el dispositivo se encuentra operando de esta manera, también se le puede colocar alrededor un recuadro negro para que tener facilidad de identificarlo cuando se está usando.

Todas las operaciones que se realicen en el SCADA deben ser limitadas por roles de usuarios, donde los operadores se dedicaran solamente a funciones de trabajo para arranque y paro de rutas, y los supervisores podrán utilizar el manejo de tiempos de limpieza de los transportadores y elevadores con el fin de que no se vean alterados y en el futuro tener inconvenientes de los equipos.

También se debe contemplar un histórico de alarmas en el sistema, donde se muestren todas las alarmas, las cuales deben de tener la hora de la incidencia y el momento del reconocimiento de las alarmas. Se debe recomendar usar colores rojos para la activación y colores verdes para reconocer las alarmas.

Análisis financiero

En la planta se tienen diariamente entre 6 o 7 movimientos de rutas en el lapso de trabajo de 7 am a 5 pm, donde se trabaja de lunes a viernes, esto quiere decir que semanalmente tienen de 30 a 35 movimientos de ruta que se debe realizar un operador.

Con los datos anteriores se tiene un estimado por mes de 150 cambios de origen y destino en las rutas de recibo de materia prima de la planta, donde por cada movimiento se están perdiendo de 15 a 20 minutos por movimiento, todo esto depende del operario que realice el cambio de ruta y su tiempo de desplazamiento.

Tomando en cuenta el más crítico del tiempo de desplazamiento de los operadores para poder hacer un cambio de ruta, usamos los 20 minutos. Con este tiempo llegamos a tener un tiempo perdido al mes alrededor de 50.2 horas.

Con el costo de hora de un operador se encuentra en promedio de ₡2 000 (Dos mil colones) por lo que al mes se tiene un costo de ₡100 333 (Cien mil trescientos treinta y tres colones). Los costos por problemas de mantenimiento o descuido de sobrecarga de los equipos como, por ejemplo, faja de elevadores rota, atasco de producto en elevador o transportadores, donde se debe tener operarios de producción y personal de mantenimiento en el sitio para poder liberar los equipos y poder continuar la producción, estos costos en promedio mensual son de ₡1 081 860 (un millón ochenta y un mil ochocientos sesenta colones). Por lo que anualmente el gasto por mantenimiento es de ₡12 982 320 (Doce millones novecientos ochenta y dos mil trescientos veinte colones) con la implementación del sistema de control de recibo el costo por mantenimiento se ve reducido en un 40% entonces el nuevo valor por este concepto es de ₡7 789 392 (siete millones setecientos ochenta y nueve mil trescientos noventa y dos colones) con este dato se pretende tener un ahorro importante por este rubro en la planta.

Todo esto sin tener en cuenta los gastos por contaminación de producto por error humano o los gastos por lesiones y seguros médicos de los operarios, ya que se debe tomar en consideración que para realizar un cambio de ruta se deben de desplazar hasta la parte superior de la planta donde se tienen riesgos de caída a distinto nivel, además en época lluviosa con la mezcla de polvo se tiende a tener una superficie resbalosa.

En la ejecución del proyecto se debe de contratar a la empresa que suministró el sistema de control ya instalado en la planta, ya que no se cuentan con los accesos a la programación del PLC y del sistema SCADA.

El costo total del sistema, donde se toman en cuenta diferentes equipos y sistemas que se plantean en el diseño, así como en la instalación, donde las pruebas y ajustes necesarios corren por cuenta de la empresa externa, utilizando el tipo de cambio de dólar del 15 de mayo de 2023 de ₡540.93 se describe en la siguiente tabla.

Ítem	Costo
Distribuidor	\$28 650/₡15 497 644.5
Sistemas de protección Watch Dog con sensores	\$17 540/₡9 487 912.2
Compañía de programación	\$12 500/₡6 761 625
Otros gastos	\$5 000/₡2 704 650

Tabla 20 Costos iniciales Fuente: Propia

El sistema con estos valores tendrá un costo inicial de ₡34 451 831.7, esta inversión es para la compra de equipos y su puesta en marcha, además se toma en cuenta que el costo de desarrollo se contempla en un contratista, esto por no contar con el acceso a los programas, ni el personal capacitado para realizar este trabajo.

Este proyecto requiere una inversión alta, por lo cual su retorno se debe realizar en un mediano plazo. En esta área se tiene actualmente una persona, la cual se puede reubicar en otra área de labores manuales donde se requieran, con la inversión se evitarían atrasos de desplazamiento, problemas de accidentes laborales, se pretende reducir los costos de mantenimiento y paros de planta con los dispositivos de seguridad. La inversión se pretende recuperar en un lapso de cinco (5) años, teniendo en cuenta que la vida útil del proyecto es de quince (15) años, se toman de referencia los datos del Banco Nacional de Costa Rica, utilizando tasa de interés de una inversión a plazo, para realizar la comparación si el monto se colocara en un fondo de inversión en el periodo previsto, este porcentaje es de 8.60% obtenido del mismo banco.

También no es necesario contratar personal, el cual debería ser de una persona adicional para estas operaciones, por lo que el ahorro se puede representar en la cantidad mensual de ₡412

800 (Cuatrocientos doce mil ochocientos colones), entonces anualmente se tendría un ahorro de ₡4 953 600 (Cuatro millones novecientos cincuenta y tres mil seiscientos colones).

El consumo eléctrico actual de la planta no se ve afectado por los equipos nuevos que se van a instalar debido a su bajo consumo energético. También los equipos existentes son de cargas inductivas de gran tamaño, donde los diferentes equipos generan un consumo mayor al proyectado con los elementos nuevos que se pretenden instalar.

En este caso los gastos por mantenimiento se deben ver reducidos porque se manejan como mantenimientos preventivos, no como correctivos como está ocurriendo con el modo de trabajo actual, ya que con los dispositivos críticos de seguridad se pueden tener seguridades de ajustes previas e informativas para el personal de mantenimiento que evitarían atascos y demás en el equipo.

Con los valores se puede calcular el valor actual neto (VAN), colocando los valores en la formula obtenemos el siguiente resultado.

$$\begin{aligned}
 VAN = & -34451831.7 + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^1} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^2} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^3} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^4} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^5} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^6} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^7} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^8} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^9} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^{10}} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^{11}} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^{12}} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^{13}} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^{14}} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1 + 0.0860)^{15}}
 \end{aligned}$$

$$VAN = 49303831.88$$

Con este valor del valor actual neto al ser mayor que cero se tiene un panorama claro de que el proyecto es viable, donde la planta tendrá posibles mejoras en su producción y rendimientos en sus operaciones.

Luego, se realiza el cálculo de la tasa interna de retorno, con este dato se podrá observar la rentabilidad y viabilidad del proyecto, por eso este valor se debe calcular correctamente para tener un resultado adicional al valor actual neto, donde dará un argumento adicional sobre la rentabilidad del proyecto. Con el desarrollo de la formula se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 TIR = 0 = & -34451831.7 + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^1} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^2} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^3} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^4} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^5} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^6} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^7} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^8} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^9} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^{10}} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^{11}} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^{12}} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^{13}} \\
 & + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^{14}} + \frac{4953600 + 12982320 - 7789392}{(1+i)^{15}}
 \end{aligned}$$

$$TIR = 29\%$$

En el resultado obtenido del valor actual neto, se puede tener una referencia de que el proyecto es viable para su ejecución, el cual tendrá un valor alto de ganancia para la empresa en el periodo de los 5 años propuestos. Este monto refleja que se tiene un alto margen de ganancia con las protecciones que se pretenden colocar en el sistema, esto comparado con la situación actual de la planta que se encuentra operando de manera manual el área de recibo.

También en otro punto de comparación se tiene la tasa interna de retorno en un 29% muy por encima de la tasa de interés de 8.60%. Con estos datos se demuestra que la inversión en el proyecto se puede financiar fácilmente en caso de requerir un préstamo con un banco.

Análisis de resultados

Al haber analizado los diferentes puntos de interés que abarcan los diferentes alcances de este proyecto, se debe efectuar un análisis de lo que se pretende implementar. En el área financiera, este proyecto para la planta de alimentos balanceados es de gran ayuda, esto porque a pesar de ser una inversión alta, se determina que se tiene un retorno de inversión en un periodo relativamente corto como lo son 5 años, también se debe tener en cuenta que este proyecto no altera la facturación eléctrica de la empresa, ya que la mayoría de los equipos ya se encuentran instalados y es el consumo actual de las instalaciones.

Además, con el resultado obtenido del valor actual neto, que es de \$49 303 831.88 (Cuarenta y nueve millones trescientos tres mil ochocientos treinta y uno con 88/100), donde el valor es mayor que cero, donde el resultado, de acuerdo con la variable, el proyecto va a generar ganancias por encima de su costo inicial en el plazo estimado de cinco años. Al tener este valor actual neto le va a ayudar a la empresa a que sea más eficiente y mejorando el rendimiento en el momento de que se reciban materias primas en el área de graneles.

Con respecto a la tasa interna de retorno que se obtiene, indica un punto sumamente importante, ya que el resultado que se obtuvo de 29% es considerablemente mayor a la tasa de descuento usada en el valor actual neto de un 8.60%. Al ser un valor mayor en la tasa interna de retorno, se obtiene una respuesta de que el proyecto es viable y pueden aceptarlo desde el punto de vista financiero de la empresa.

Los valores mencionados anteriormente brindan como resultado que el proyecto tendrá un retorno de inversión en el tiempo previsto, donde el monto invertido será recuperado y se tendrán ganancias en el periodo de cinco años que se plantea mientras que los datos calculados del valor actual neto y la tasa interna de retorno se utiliza el plazo de vida útil del sistema de quince años.

Referente al sistema de control, la planta podrá tener un sistema capaz de satisfacer las necesidades de los operarios, donde se evitarán traslados, tiempos perdidos, entre otros inconvenientes que se tienen en la actualidad. También se tiene previsto un sistema amigable y sencillo para que la interacción humano-máquina sea lo menos complicada posible, donde la operación complicada la debe realizar el PLC del sistema de control.

También se contará con seguridades donde los equipos van a estar monitoreados con una frecuencia mayor, y cuenta con protecciones para evitar daños mayores que colaboran para disminuir el costo anual por mantenimiento alrededor de 40%, donde se toma en cuenta cambio de equipos por daños ocasionados, tiempo perdido por mantenimientos correctivos, además se podría mejorar en el manejo del mantenimiento preventivo y predictivo de la empresa, donde los técnicos podrán darle seguimiento con mejor control a las fallas que presente el sistema con el fin de se reduzca su tiempo de respuesta y los paros de la producción de la planta por estos temas.

Por otra parte, se evitarán problemas de contaminación de producto por errores humanos, donde por una mala operación podría enviar la materia prima al destino incorrecto, con el sistema se pretende que existan seguridades para que no ocurran estos errores y no se tengan pérdidas de materiales en el proceso.

En las secuencias de arranque y paro de las rutas se tiene mejor control de que los equipos queden completamente limpios con la propuesta de los tiempos de limpieza que se tienen previsto colocar, de esta forma no quedarían trazas de materiales y se pretende que el operador tenga la tranquilidad para poder iniciar con otra ruta sin que vaya a tener inconvenientes.

Finalmente, los equipos que se encuentran instalados actualmente en la planta, como lo son PLC, módulos de entrada y salida, son equipos con tecnología reciente que no se van a tener inconvenientes en un futuro cercano por culpa de obsolescencia o por discontinuidad de los equipos. Además, de que los equipos que se encuentran cubren todas las opciones necesarias para la implementación, por lo que no se requieren colocar módulos adicionales para estos equipos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el desarrollo del proyecto se logra determinar que la implementación de la automatización del área de recibo se tendrán mejoras muy importantes en la eficiencia de la planta y en la reducción de tiempos muertos.
- Se logra utilizar el enlace actual entre el equipo PLC y el sistema SCADA con el fin de realizar el control del área de recibo de materia prima de la planta de alimentos balanceados.
- Los dispositivos críticos de seguridad WatchDog son equipos que colaboran para evitar problemas mecánicos en los elevadores y transportadores de la planta, donde se comunican por medio de Modbus TCP y se reduce el costo de instalación eléctrica por el cableado que se requiere para su instalación.
- Se plantea un sistema informativo de las señales conectadas por elemento, sea elevador, transportador, entre otros, donde el usuario podrá estar enterado de los momentos de activación y de operación de cada sensor, arranque de motor demás equipos que se pretender monitorear. Donde se busca reducir el error humano a través de la interfaz gráfica.
- Los costos de los equipos nuevos fueron calculados, donde se obtienen los datos calculados del VAN y TIR que hacen que la inversión sea recuperable en un mediano plazo.

Recomendaciones

- Se recomienda colocar como seguridades futuras un enlace con el sistema de control de planta para que se ingrese el código de material en la fosa de recibo y coincida con los datos de la materia prima que se encuentra en el destino, en caso contrario no arrancar.
- Se recomienda realizar un enlace con el sistema de datos de la planta con el fin de tener datos del rendimiento de las operaciones del área de recibo y poder manejar opciones de mejora en esta área.
- Se recomienda tener un control de revisión periódica de los equipos por parte de la empresa que suministre la solución, con el fin de que se puedan detectar inconvenientes previos, como mantenimiento predictivo y que no se convierta en un mantenimiento correctivo y de esta forma capacitar al personal técnico de la planta.
- Se recomienda que las conexiones eléctricas de los elementos nuevos se realicen en el nodo #0 de la instalación actual del PLC, ya que cuenta con la cantidad suficiente de entradas y salidas para los equipos necesarios en el área de recibo.

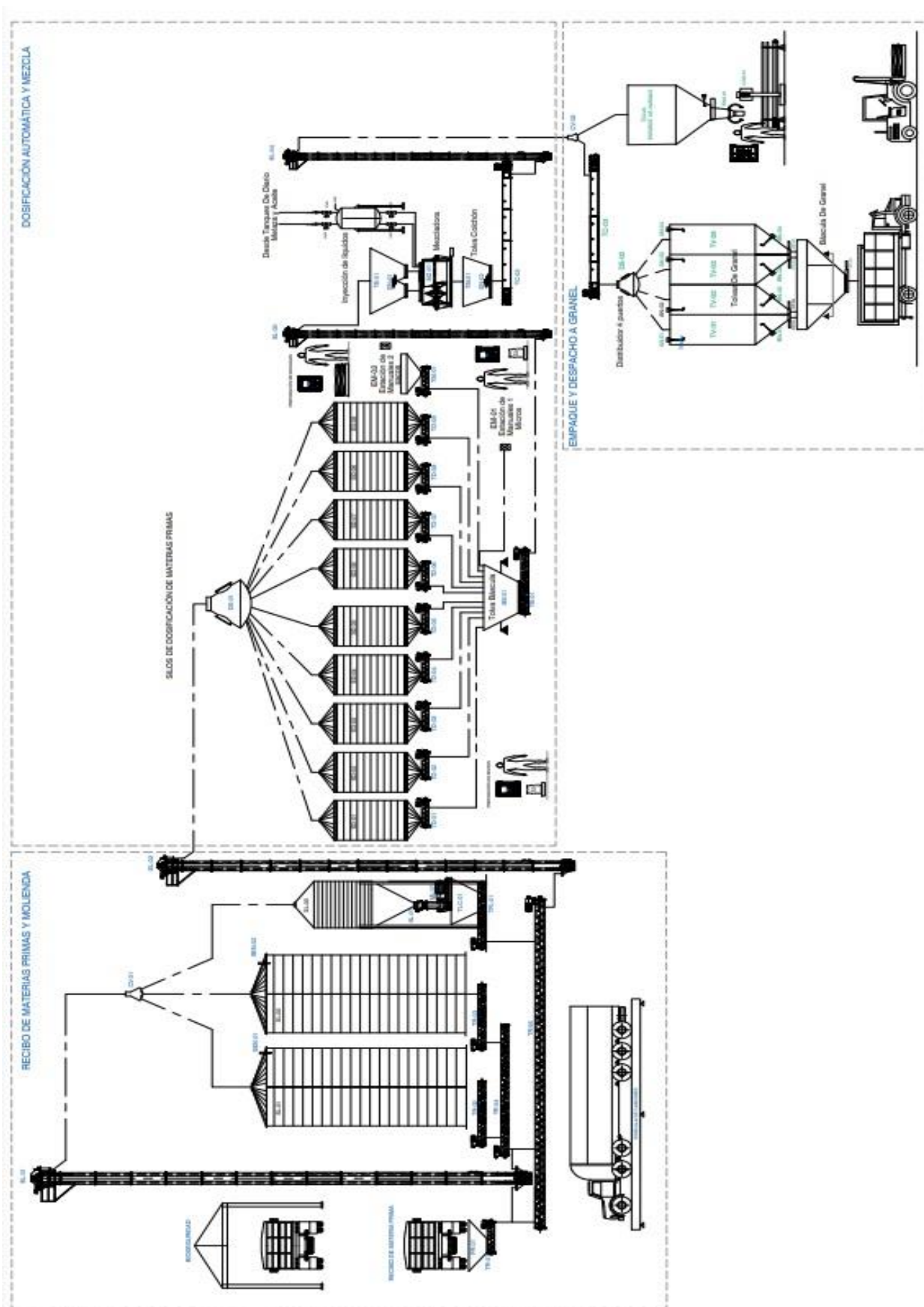
CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

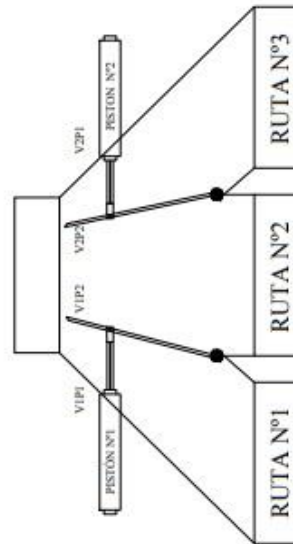
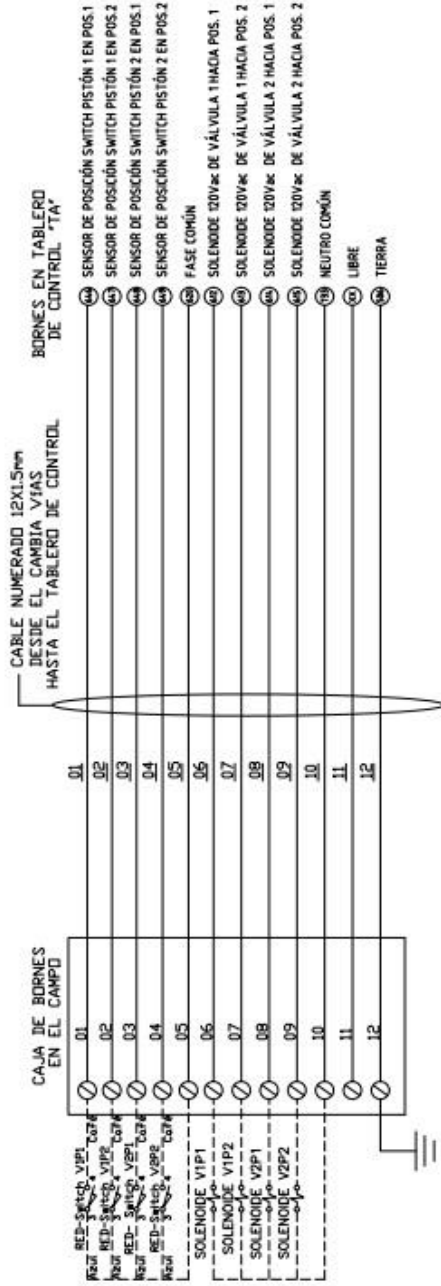
- Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for Industry*. Burlington: Newnes.
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*. Kidlington: Newnes.
- es.rheonics.com*. (27 de Abril de 2022). Obtenido de *es.rheonics.com*:
<https://es.rheonics.com/ethernet-ip-the-standard-protocol-for-communication-in-industrial-networks/>
- Estrada Roque, J. A. (s.f.). *Protocolos de comunicaciones industriales*. Guadalajara: Logicbus SA de CV.
- ethercat.org*. (2 de Octubre de 2018). Obtenido de *ethercat.org*:
<https://www.ethercat.org/en/technology.html>
- Miravete, A., & Larrodé, E. (1996). *Transportadores y elevadores*. Zaragoza: Editorial Reverté, S.A.
- Peciña Belmonte, L. (2018). *Comunicaciones industriales y WinCC*. Ulzama: Marcombo.
- Pérez López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, Pág 3-14.
- Pfeiffer, O., Ayre, A., & Keydel, C. (2008). *Embedded Networking with CAN and CANopen*. San Clemente: RTC Books.
- Ramírez Cortés, C. (2001). *Controladores Lógicos Programables*. Santiago: Universidad de Chile.
- Rodríguez Penin, A. (2011). *Sistemas SCADA* (Vol. 3era Edición). Barcelona: Marcombo.
- Serna Ruiz, A., Ros García, F. A., & Rico Noguera, J. C. (2010). *Guía Práctica de Sensores*. España: Creaciones Copyright, S.L.

CAPÍTULO VII ANEXOS

Anexo #1



DETALLE DE CONEXIONES DE CAMBIA VÍAS DE TRES POSICIONES EN ELEVADOR DE HARINAS



DETALLE DE CAMBIA VÍAS TRES POS.

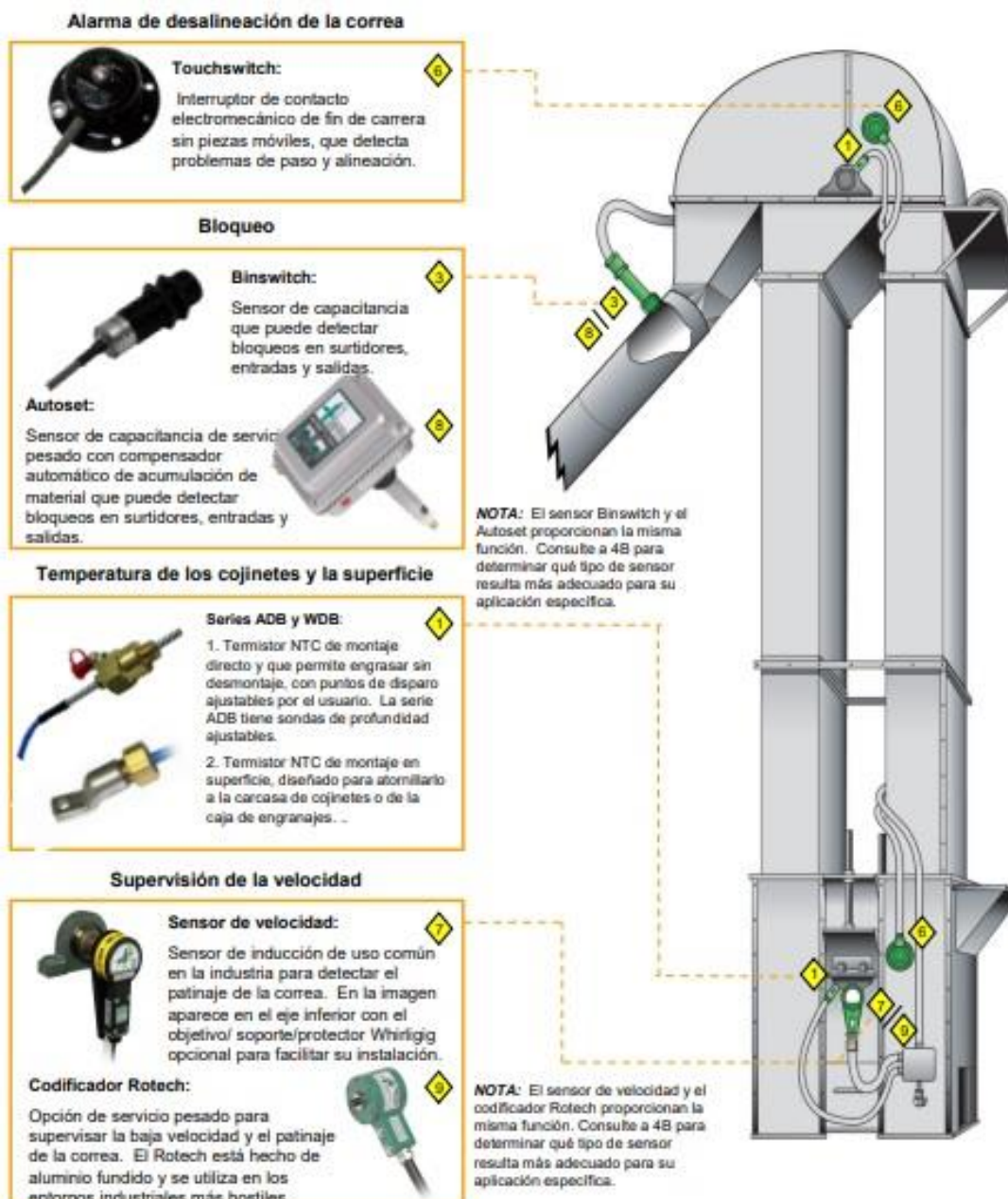
V1 P1	V1 P2	V2 P1	V2 P2	RUTA	DESTINO
0	1	1	0	POS1	RUTA N°1
1	0	1	0	POS2	RUTA N°2
1	0	0	1	POS3	RUTA N°3

NOTAS:
 LAS ELECTROVALVULAS A UTILIZARSE DEBEN SER DE DOBLE SOLENODE 100VAC ESTO EVITARA QUE AL FALAR EL FLUIDO ELÉCTRICO O EL AIRE, EL CAMBIA VÍAS REGRESE AL ESTADO REPOS. OCACIONANDO REVOLTURAS DE PRODUCTO.
 LOS PISTONES DEBEN CONTAR CON SENSORES EN AMBAS POSICIONES PARA ASÍ GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO.

<p>ALPHA TECH INC. S.A. TECNOLOGIA PARA LA INDUSTRIA SAN JOSE COSTA RICA</p>	PROYECTO	CONTENIDO
	AUTOMATIZACIÓN DE CAMBIA VÍAS DE P.T.	PLANOS DE CONEXIÓN EN CAMPO DE CAMBIA VÍAS

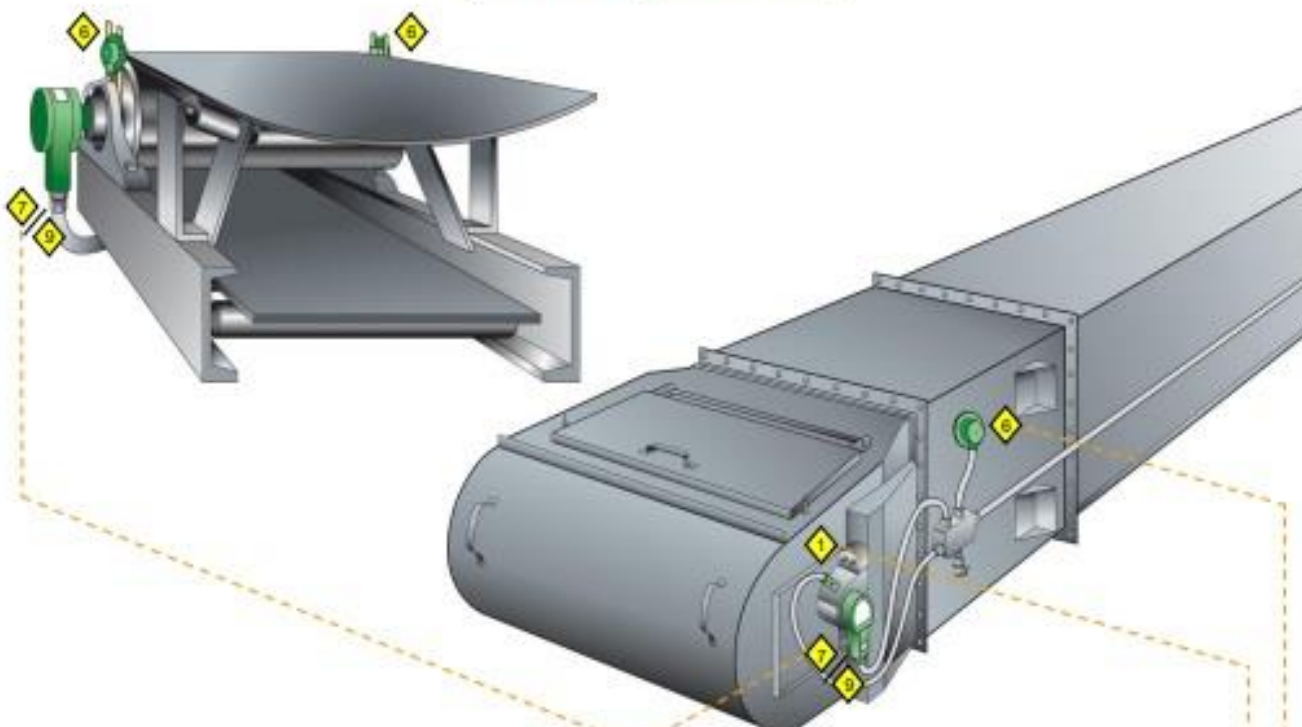
Anexo #3

Aplicación A para elevadores de cangilones (cangilones de plástico o acero)



Anexo #4

Aplicaciones en transportadores estándar (abiertos y cerrados)



Supervisión de la velocidad



Sensor de velocidad:

Sensor de inducción de uso común en la industria para detectar el patinaje de la correa. En la imagen aparece en el eje inferior con el objetivo/ soporte/protector Whirligig opcional para facilitar su instalación.

Codificador Rotech:

Opción de servicio pesado para supervisar la baja velocidad y el patinaje de la correa. El Rotech está hecho de aluminio fundido y se utiliza en los entornos industriales más hostiles.



NOTA: El sensor de velocidad y el codificador Rotech proporcionan la misma función. Consulte a 4B para determinar qué tipo de sensor resulta más adecuado para su aplicación específica.

Temperatura de los cojinetes y la superficie



Serie ADB y WDB:

1. Termistor NTC de montaje directo y que permite engrasar sin desmontaje, con puntos de disparo ajustables por el usuario. La serie ADB tiene sondas de profundidad ajustables.
2. Termistor NTC de montaje en superficie, diseñado para atornillarlo a la carcasa de cojinetes o de la caja de engranajes.

Alarma de desalineación de la correa



Touchswitch:

Interruptor de contacto electromecánico de fin de carrera sin piezas móviles, que detecta problemas de paso y alineación.

Anexo #5

Base Register Address	Modbus Register	Setting
30000	39	Alarm Source

Value	State
0	NO ALARM
1	SPEED
2	ALIGNMENT HEAD
3	ALIGNMENT TAIL
4	HBS1
5	HBS2
6	HBS3
7	HBS4
8	HBS5
9	HBS6
10	AMBIENT 1
11	AMBIENT 2
28	PLUG
17	PULLEY
18	RUB TAIL LEFT
19	RUB TAIL RIGHT
20	RUB HEAD LEFT
21	RUB HEAD RIGHT
34	STARTUP
35	ACCELERATION
36	JOG

Anexo #6

Base Register Address	Modbus Register	Setting
30000	40	Alarm Condition

Alarm source if Modbus Register (39) = SPEED (1)	State
0	HEALTHY
1	SEVERE UNDER SPEED ALARM
2	UNDER SPEED ALARM
3	SEVERE OVER SPEED ALARM
4	OVER SPEED ALARM

Alarm source if Modbus Register (39) = TEMPERATURE (4-11 & 18-21)	State
0	HEALTHY
1	OPEN CIRCUIT ALARM
2	SHORT CIRCUIT ALARM
3	ABSOLUTE ALARM
4	RELATIVE ALARM
5	RATE OF RISE ALARM
6	COMMUNICATION ALARM
7	PRE ABSOLUTE ALARM