

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE OPERACIÓN REMOTA  
EN UNA LÍNEA INDUSTRIAL DE PASTAS ALIMENTICIAS  
APLICACIÓN: FÁBRICA DE FIDEOS – EMPRESA EXE**

**Proyecto de grado para optar al grado académico de Ingeniero Electrónico**

**POR:** OMAR POMA LAURA

**TUTOR:** ING. HUGO BALDERRAMA BARRIOS

LA PAZ – BOLIVIA

2021



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mis padres que me dieron la vida y la fuerza, para seguir adelante, ante la duda y la adversidad, por el cual sigo vivo y luchando, no me rendiré y seguiré siendo la misma persona de valores que inculcaron mis padres.

A toda mi familia que siempre ha estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mi querida Paola, que, gracias a su apoyo y a su conocimiento, hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

Omar Poma Laura

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi papá Nicolas y mi mamá Martha, quienes con su ayuda, cariño, comprensión y amor me enseñaron a no desfallecer ni rendirme ante nada.

A mi hermano Ronald, por ser un gran amigo para mí, que junto a sus ideas hemos pasado momentos inolvidables, ayudándome a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

A mi hermana Norah, por apoyarme y animarme a lograr este sueño que se está haciendo realidad.

A mi esposa Paola, que durante estos años me impulso a continuar y a nunca renunciar a mis sueños, con ayuda de su amor, cariño y comprensión.

A mis amigos y compañeros de estudio, por el apoyo y aliento para terminar este proyecto.

A docentes de la carrera que me conocen por apoyarme y alentarme a continuar hasta el final.

A todos muchas gracias.

Omar Poma Laura

## RESUMEN DEL PROYECTO

La empresa “E.X.E.” EXCELENCIA EMPRESARIAL, INGENIERÍA EN INDUSTRIA Y MECÁNICA enteramente boliviana, dedicada a la fabricación, instalación y mantenimiento de maquinaria y equipo para uso industrial en general. Y como rubro secundario la elaboración de pastas alimenticias.

Dispone en sus instalaciones una línea de equipos industriales para la elaboración de pastas alimenticias, el cual sigue el siguiente proceso productivo: **a) Recepción de materia prima, b) Tamizado, c) Dosificado, d) Mezclado y amasado, e) Moldeado, f) Cortado y g) Secado.** Cada etapa cuenta con equipos que están compuestos con la instrumentación de campo necesaria para que en su conjunto desarrolle el proceso. Por otro lado, la planta no cuenta con la instrumentación de control necesaria para desarrollar el proceso productivo y asimismo no permite al operador realizar la monitorización a través de interfaces gráficas presentadas en pantallas de computador, en los cuales el control de procesos permite por secuencias reconocer en un instante de trabajo; cómo se está operando y cómo es la producción.

Es por esta razón que surge la necesidad de realizar un análisis, dimensionamiento e implementación de dispositivos necesarios para obtener el funcionamiento de la línea industrial de pastas alimenticias, posteriormente diseñar e implementar un sistema de supervisión y control de operación mediante la aplicación de tecnologías emergentes de la automatización, estableciendo comunicación con los dispositivos de campo para ejecutar órdenes que se puedan producir sobre los interruptores o seccionadores, recoger las señales, transmitir las alarmas que se puedan producir y visualizar las medidas, todo ello en tiempo real.

Para el desarrollo del proyecto, se considera la aplicación de técnicas de automatización cuyo objetivo principal es la supervisión y control de procesos industriales, las cuales al implementarse ayudarán a mejorar la competitividad con otras industrias, aumentar la producción, disminuir tiempos en los procesos y sobre todo a rehabilitar maquinaria obsoleta.

La propuesta de este trabajo se presenta en realizar la implementación de un sistema de supervisión de acceso remoto, desde un computador o un teléfono inteligente para controlar el proceso de producción de pastas alimenticias en EXE.

**Palabras clave:** Sistema de supervisión, automatización, gabinete eléctrico, Controlador lógico programable, variador de frecuencia, interfaz humano máquina, motor eléctrico trifásico, válvulas motorizadas.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.1.1. Antecedente de la empresa .....	2
1.2. Descripción de la problemática .....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación .....	5
1.5. Alcances y limites .....	6
1.5.1. Alcances .....	6
1.5.2. Limitaciones .....	6
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEORICOS .....	7
2.1. Descripción de los conceptos .....	7
2.1.1. La automatización .....	7
2.1.2. Modelo de automatización piramidal .....	8
2.1.3. Clasificación tecnológica .....	9
2.1.4. Sistemas automatizados .....	10
2.1.5. Automatas programables .....	12
2.1.6. Control en tiempo real .....	15
2.1.7. Supervisión de procesos industriales .....	15
2.1.8. Sistema SCADA.....	16
2.1.9. Topologías de redes industriales.....	19
2.1.10. Red de comunicación industrial ETHERNET .....	19
2.1.11. Modelo de referencia OSI .....	20
2.1.12. Norma de comunicación RS232.....	22
2.1.13. Base de datos .....	23
2.2. Descripción de los aspectos metodológicos .....	24
2.2.1. Guía de estudio de los modos de marcha y paro (GEMMA).....	24

2.2.2. Diagrama de control con etapas y transiciones (GRAFSET).....	28
2.2.3. Lenguaje escalera (LADDER) .....	31
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO .....	33
3.1. Análisis e identificación de requerimientos .....	33
3.2. Especificaciones del proyecto dentro del tablero eléctrico .....	40
3.2.1. Controlador lógico programable SYSMAC OMRON CP1L – EM40DR....	40
3.2.2. Variador de frecuencia WEG CFW100 .....	44
3.2.3. Interfaz proceso – operario HMI KINCO .....	48
3.2.4. Relé de interface .....	50
3.2.5. Contactor .....	52
3.2.6. Relé térmico .....	53
3.2.7. Breaker de caja moldeada CHINT NM1 .....	55
3.2.8. Interruptor termomagnético .....	56
3.2.9. Unidades de control .....	58
3.2.10. Gabinete eléctrico .....	59
3.2.11. Carriles de fijación.....	60
3.2.12. Canaletas .....	60
3.2.13. Terminales de conexión .....	61
3.3. Especificaciones del proyecto fuera del tablero eléctrico .....	61
3.3.1. Sensor de temperatura FG6010 .....	61
3.3.2. Válvula de bola motorizada .....	63
3.3.3. Electroválvula.....	63
3.3.4. Agitador de líquido para tanque .....	64
3.3.5. Motor eléctrico trifásico asíncrono .....	65
3.4. Especificaciones del sistema de comunicación.....	70
3.4.1. Normas sobre las comunicaciones.....	72
3.5. Programas utilizados .....	74
3.5.1. CX-Programmer .....	74
3.5.2. CX-Supervisor .....	74
3.5.3. Kinco HMIware.....	75
3.5.4. Superdrive G2.....	76



3.5.5. WLP .....	77
CAPÍTULO IV: INGENIERIA DEL PROYECTO.....	78
4.1. Diseño de ingeniería.....	78
4.2. Entradas y salidas físicas del sistema de control .....	80
4.3. Diseño lógico para control de entradas y salidas del proceso .....	81
4.4. Diseño lógico para control de potencia .....	82
4.5. Ingeniería del hardware .....	83
4.5.1. Determinación del área de trabajo para el gabinete eléctrico .....	83
4.5.2. Asignación y calculo estratégico de los elementos de control y potencia .....	85
4.5.3. Configuración del sistema eléctrico de control .....	86
4.6. Ingeniería del software .....	90
4.6.1. Análisis metodológico para la configuración de los programas.....	91
4.6.2. Programación del sistema de control .....	96
4.6.3. Configuración de los programas de supervisión .....	102
4.7. Configuración de los elementos de comunicación .....	116
4.8. Seguridad en el sistema de supervisión.....	122
4.8.1. Seguridad en la red .....	123
4.8.2. Seguridad en el sistema operativo .....	127
4.8.3. Seguridad en los equipos industriales .....	129
CAPÍTULO V: COSTOS Y BENEFICIOS .....	131
5.1. Costos del proyecto .....	131
5.2. Beneficios .....	132
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
6.1. Conclusiones .....	133
6.2. Recomendaciones .....	135
Glosario de términos .....	136
Bibliografía .....	138
ANEXOS .....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pirámide de la automatización .....	8
Figura 2: Diagrama de bloques de un sistema de automatización.....	10
Figura 3: Ciclo de trabajo PLC .....	13
Figura 4: Estructura interna de un autómatas programable .....	13
Figura 5: Arquitectura general de un sistema SCADA.....	18
Figura 6: Niveles OSI .....	21
Figura 7: Resumen de las 7 capas del modelo OSI .....	22
Figura 8: Conexión cable RS232.....	23
Figura 9: Modos de funcionamiento según GEMMA .....	25
Figura 10: Estados completos de la guía GEMMA .....	28
Figura 11: Diagramas de control con etapas y transiciones .....	29
Figura 12: Control de receptividad GRAFCET .....	29
Figura 13: Etapa inicial de GRAFCET .....	30
Figura 14: Estructura de divergencia y convergencia en Y (AND).....	30
Figura 15: Estructura de divergencia y convergencia en O (OR).....	31
Figura 16: Símbolos básicos lenguaje escalera .....	31
Figura 17: Estructura lenguaje escalera .....	32
Figura 18 : Croquis de distribución de ambiente de planta.....	33
Figura 19: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pastas alimenticias .....	37
Figura 20: Diagrama de procesos de elaboración de pastas alimenticias .....	38
Figura 21: Partes del PLC OMRON .....	40
Figura 22: Modos de funcionamiento PLC OMRON .....	41
Figura 23: Resumen de los modos de funcionamiento PLC OMRON .....	42
Figura 24: Conexión de entradas PLC OMRON.....	42
Figura 25: Conexión de salidas PLC OMRON.....	43
Figura 26: Áreas de memoria PLC OMRON .....	44
Figura 27: Diagrama de bloques variador de frecuencia .....	45
Figura 28: Nombre de las terminales VF .....	45
Figura 29: Botones de operación HMI - VF .....	46
Figura 30: Interfaz SoftPLC .....	47

Figura 31: Curva de relación Voltaje - Frecuencia.....	47
Figura 32: Diagrama de bloques control escalar VF.....	48
Figura 33: Dimensiones HMI kinco.....	50
Figura 34: Relé de interface 24 [V].....	51
Figura 35: Contactores (Siemens, Schneider, ABB, Chint ).....	52
Figura 36: Categorías de empleo.....	53
Figura 37: Relé térmico (Schneider, Siemens, ABB, Chint).....	54
Figura 38: Breaker de potencia.....	56
Figura 39: Interruptor termomagnético.....	57
Figura 40: Botoneras, parada de emergencia y selector.....	58
Figura 41: Gabinete eléctrico tipo pupitre.....	59
Figura 42: Carriles de fijación.....	60
Figura 43: Ductos de cable para gabinete eléctrico.....	61
Figura 44: Terminales de conexión.....	61
Figura 45: Sensor de temperatura FG6010.....	62
Figura 46: Válvula de bola motorizada.....	63
Figura 47: Electroválvula.....	64
Figura 48: Agitador y tanque etapa de dosificado.....	65
Figura 49: Motor de jaula de ardilla Trifásico WEG.....	66
Figura 50: Arranque directo motor trifásico.....	67
Figura 51: Datos técnicos motor trifásico.....	67
Figura 52: Elementos de comunicación.....	71
Figura 53: Software CX - programmer.....	74
Figura 54: Software CX - Supervisor.....	75
Figura 55: Software HMIware Kinco.....	76
Figura 56: Software SuperDrive G2.....	76
Figura 57: Software WLP.....	77
Figura 58: Diagrama general del sistema.....	78
Figura 59: Diagrama de flujo del diseño.....	79
Figura 60: Lógica de control del proceso.....	82
Figura 61: Lógica de potencia del proceso.....	83

Figura 62: Distribución de la plancha de montaje .....	84
Figura 63: Elementos de sujeción .....	84
Figura 64: Distribución de los elementos de control y potencia .....	85
Figura 65: Dimensiones del gabinete eléctrico .....	86
Figura 66: Descripción de la conexión de la cara frontal .....	87
Figura 67: Descripción de la conexión del sistema en la plancha .....	87
Figura 68: Gabinete eléctrico de control culminado .....	90
Figura 69: Estados de GEMMA .....	91
Figura 70: GRAFCET F1: Producción normal .....	93
Figura 71: GRAFCET F4: Marcha de verificación sin orden .....	95
Figura 72: Área de trabajo CX Programmer .....	96
Figura 73: Estados de la guía GEMMA .....	97
Figura 74: Bits de trabajo para las velocidades de la cuchilla .....	97
Figura 75: Salidas del PLC para el variador de frecuencia .....	98
Figura 76: Escalonamiento de la temperatura .....	99
Figura 77: Interfaz superdriveG2 .....	100
Figura 78: Programa Ladder del variador de frecuencia .....	101
Figura 79: Interfaz HMIware .....	102
Figura 80: Conexión PLC - HMI .....	103
Figura 81: Atributos de comunicación RS232 (HMI – PLC) .....	103
Figura 82: HMI ventana de inicio .....	104
Figura 83: HMI ventana de estado de los actuadores .....	105
Figura 84: HMI ventana de estado de la temperatura .....	106
Figura 85: HMI ventana de información .....	106
Figura 86: Área de trabajo CX Supervisor .....	107
Figura 87: Carátula del sistema SCADA .....	108
Figura 88: Modo de operación en control automático .....	109
Figura 89: Secuencia de comandos del proceso de elaboración de pastas alimenticias .....	110
Figura 90: Gráfico de tendencia para el registro de la temperatura .....	111
Figura 91: Interfaz de la base de datos en el sistema SCADA .....	112

Figura 92: Archivo Excel exportado.....	113
Figura 93: Base de datos ACCESS.....	114
Figura 94: Conexión con CX supervisor .....	114
Figura 95: Campos del sistema para la base de datos .....	115
Figura 96: Comandos para el registro de datos.....	115
Figura 97: Página oficial de internet de Mikrotik.....	116
Figura 98: Descarga del software WinBox .....	116
Figura 99: Terminal de ingreso a WinBox .....	117
Figura 100: Área de trabajo de WinBox.....	117
Figura 101: Barra de herramientas para la configuración .....	118
Figura 102: Direccionamiento IP sistema de red .....	118
Figura 103: Creación de Bridging de las interfaces .....	119
Figura 104: Creación de la red Wi fi .....	119
Figura 105: Creación del servidor de DHCP SERVER .....	120
Figura 106: Lista de interfaces conectadas a la red .....	120
Figura 107: Interfaz de operación TeamViewer .....	121
Figura 108: Restricción de accesibilidad .....	123
Figura 109: Registro de todos los usuarios que tienen acceso.....	124
Figura 110: Autenticación de accesos.....	124
Figura 111: Lista de acceso a usuarios permitidos para el ingreso .....	125
Figura 112: Regla de acceso para cada dirección MAC .....	125
Figura 113: Firewall de entrada y salida a la red .....	126
Figura 114: Cifrado de disco bitlocker .....	128
Figura 115: Firewall de Windows .....	128
Figura 116: Seguridad de acceso en la HMI .....	129
Figura 117: Seguridad de acceso en el SCADA.....	129
Figura 118: Seguridad en el PLC .....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características HMI Kinco .....	49
Tabla 2: Características relé de interface .....	51
Tabla 3: Características de los contactores.....	52
Tabla 4: Características de los relés térmicos .....	54
Tabla 5: Características Breaker de potencia .....	56
Tabla 6: Características interruptor termomagnético .....	57
Tabla 7: Características unidades de control .....	59
Tabla 8: Características FG6010.....	62
Tabla 9: Características electroválvula.....	64
Tabla 10: Características motor agitador.....	65
Tabla 11: Datos técnicos motor trifásico.....	68
Tabla 12: Características de los motores trifásicos del proceso .....	70
Tabla 13: Características del Router Mikrotik RB951U.....	72
Tabla 14: Normas que afectan a las comunicaciones .....	73
Tabla 15: Dirección de memoria de entradas del PLC .....	80
Tabla 16: Dirección de memoria de salidas del PLC .....	81
Tabla 17: División de parámetros del variador de frecuencia .....	100
Tabla 18: Costos del proyecto.....	131

## INTRODUCCIÓN

El sistema de supervisión, es un software especialmente diseñado para el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios. Otra de las ventajas de un sistema de supervisión es que puede realizar el control de manera local y remota, permitiendo realizar órdenes que se puedan producir sobre los interruptores, recoger las señales, transmitir las alarmas que se puedan producir y visualizar las medidas, todo ello en tiempo real.

Para implementar el sistema de supervisión es necesario automatizar el proceso, que requerirá una investigación de campo a fin de seleccionar todos los elementos eléctricos de campo para su puesta en operación.

En ese sentido, el presente proyecto propone el diseño de un sistema de supervisión sobre el proceso de elaboración de pastas alimenticias, siendo este proceso una actividad importante a la que se dedica la empresa "EXE" EXELENIA EMPRESARIAL – INGENIERIA EN INDUSTRIA & MECÁNICA.

## **CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL**

### **1.1. Antecedentes**

Bolivia no es un país industrializado, entendiendo con esto que no produce suficientes bienes y servicios usando tecnología maquinizada en fábricas. En efecto, el país tiene una economía escasamente industrializada porque su actividad manufacturera es mayoritariamente de base técnica artesanal, sus industrias de procesos no usan sistemas computarizados.

Hay tres momentos o hitos históricos debido a la dinámica de inversiones y procesos que le dieron origen a la automatización industrial: a) La modernización inicial entre 1890 y 1920, b) El salto cualitativo entre 1925 y 1935 y c) La acción diversificadora que se inicia con el Plan Bóhan en 1942. [1]

Hoy en día, en un mercado globalizado, las empresas se ven forzadas a generar nuevas ideas para incursionar en el entorno y obtener ventaja competitiva. Debido a esto, el interés de las empresas está enfocado en la gestión de la cadena de suministros, creando valor para la empresa y el cliente. [2]

#### **1.1.1. Antecedente de la empresa**

La empresa TECNIMEC S.R.L. “Técnicos Mecánicos”, inicialmente estuvo constituida por dos accionistas, siendo su principal rubro la metal mecánica dedicándose a la fabricación de maquinarias y otros.

Es así que al transcurrir los años la empresa llega a disolverse, a tal efecto se divide, quedando un solo accionista, el Sr. Palermo Acarapi Cerda, quien resuelve continuar en el rubro tomando el nombre de “TORNERÍA LA PAZ”. La empresa se mantiene con este nombre durante un buen tiempo, sin embargo, en diciembre de 2011 cambia a “EXE” EXELENIA EMPRESARIAL – INGENIERIA EN INDUSTRIA & MECÁNICA a la cabeza del Ing. Albert Acarapi Paredes.



Surge posteriormente la necesidad de diversificar y ampliar la gama de productos, abarcando la fabricación de maquinaria industrial y automotriz entre otros, orientada principalmente en la calidad, innovación y en su compromiso constante por la mejora.

Actualmente la empresa se encuentra ubicada en la Av. Panamericana N° 16 Zona Villa Bolívar D en la ciudad de El Alto - La Paz. Está enfocada en un nuevo proyecto, la cual es rehabilitar las máquinas industriales para la elaboración de pastas alimenticias, pretendiendo introducir sistemas o elementos computarizados y electromecánicos en la fabricación de los mismos, para dar una mejor respuesta a las necesidades del mercado nacional, ofreciendo procesos productivos de mayor calidad, menor tiempo y costo, reaccionando de forma más rápida y flexible a los cambios.

## **1.2. Descripción de la problemática**

En la actualidad la planta industrial de elaboración de pastas alimenticias en EXE, no se encuentra en funcionamiento debido a que no cuenta con un gabinete de control para manipular la planta de manera local, ya que este no se usó desde hace tiempo.

La empresa EXE desea volver con el rubro de la elaboración de pastas alimenticias, sumando a este la necesidad de ser competitivo en el sector industrial por estar a la vanguardia y acorde a las tendencias de nuevas tecnologías.

Asimismo, la planta industrial de elaboración de pastas alimenticias no cuenta con un sistema de supervisión y control que permita al operador, mediante la visualización en una pantalla de computador o en un teléfono inteligente, gobernar la actividad y evolución de los procesos de manera remota.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta:

**¿De qué manera se puede emplear procedimientos automáticos en una línea industrial de pastas alimenticias producidas por EXE, que permitan realizar tareas y supervisar secuencias de operaciones reduciendo al mínimo la intervención humana en la planta?**

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar un sistema de supervisión y control de operación remota en una línea industrial de pastas alimenticias, que recopile evidencias objetivas mediante la aplicación de procedimientos automáticos, con miras a la implementación en la empresa EXE.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar la clasificación, instalación y acoplamiento de los elementos eléctricos para su puesta en marcha.
- Diseñar y configurar un tablero de control para la operación local en una línea industrial de pastas alimenticias.
- Utilizar el software apropiado para controlar el proceso de automatización, utilizando la metodología GEMMA para sustentar todos los estados de un automatismo.
- Plantear la arquitectura de comunicaciones industriales conveniente para la supervisión del proceso, mediante una interfaz usuario – maquina.
- Diseñar y crear una base de datos para el almacenamiento de la información de la temperatura como variable analógica en el proceso.

## **1.4. Justificación**

### **Tecnológica**

Dentro de los procesos industriales, actualmente encontramos máquinas para diferentes aplicaciones con controles manuales y semiautomáticos, la tendencia en la industria boliviana es de optimizar sus procesos de producción mediante la automatización.

La automatización permite ejecutar los procesos con un nivel de calidad óptima que, en un proceso manual, debido a esto se desea implementar esta tecnología en pequeñas y medianas empresas, si es que se desea crecer competitivamente en la industria nacional.

### **Social**

Las máquinas automatizadas contarán con procesos que se repetirán continuamente sin alteraciones ni fallos, dada la eficiencia y precisión del proceso automatizado, se reducirá significativamente el tiempo de producción y además se incrementará la seguridad ocupacional donde se promoverá y protegerá la salud de los trabajadores. Controlando así los accidentes y las enfermedades mediante la reducción de las condiciones de riesgo, especialmente en procesos que incluyen grandes pesos, temperaturas elevadas o entornos peligrosos. [3]

### **Económica**

Los costos de mantenimiento, supervisión y control se reducen considerablemente, ya que es más fácil ver que ocurre en la instalación desde la estación de control que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones se convierten en innecesarias.

## **1.5. Alcances y límites**

### **1.5.1. Alcances**

- Con la implementación del sistema de supervisión y control de operación, la línea industrial de pastas alimenticias de la empresa EXE, se encontrará en buenas condiciones para el desarrollo de producción, optimizando así el proceso productivo.
- Con base a lo anteriormente indicado, se planifica el diseño y construcción del sistema eléctrico de mando y potencia, que consiste en colocar estratégicamente todos los elementos dentro de un gabinete eléctrico para el control de las máquinas industriales, además de contar con interfaces usuario – máquina donde se podrá visualizar el estado de todos los elementos que intervienen en el proceso (entradas y salidas).
- Todo el proceso de elaboración de pastas alimenticias podrá ser operado mediante el sistema de supervisión y que a este se accederá desde cualquier lugar donde se encuentre el personal de la industria mediante un computador o teléfono inteligente.

### **1.5.2. Limitaciones**

- El capital de inversión de EXE determinará la referencia de los materiales para el sistema automatizado, en la parte de control (PLC's, tarjetas de comunicación y HMI), así también en la parte de potencia (relés de interface, contactores, relés térmicos y llaves térmicas), los cuales deben satisfacer un buen funcionamiento en las maquinas.
- Las dimensiones y el modelo del gabinete eléctrico serán proporcionado por EXE.
- Para el control del proceso de manera remota, se verá limitado por las licencias de software debido a su alto costo en el uso de sus servidores.
- Parte de los equipos de potencia (contactores + relé térmico) que serán incluidos en la construcción del sistema eléctrico fueron proporcionados por la empresa, limitando la optimización del rendimiento en los motores por la elevada corriente de arranque que consume cada uno de ellos.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEORICOS

### 2.1. Descripción de los conceptos

#### 2.1.1. La automatización

Desde el inicio de los tiempos, los seres humanos aplicaron su ingenio en la invención y el desarrollo de máquinas que les permitieran mitigar el esfuerzo físico ocasionado en sus labores diarias. Estas máquinas se componían de un conjunto de piezas o elementos que permitían, a partir de la aplicación de una cierta energía, transformarla o restituirla en otra más adecuada o, bien, producir un determinado trabajo o efecto.

Más tarde tuvieron la necesidad de construir mecanismos capaces de ejecutar tareas repetitivas y de controlar determinadas operaciones sin la intervención de un operador humano, lo que dio lugar a los llamados automatismos.

*La automatización es la sustitución de la acción humana por mecanismos, independientes o no entre sí, su fin es controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana, capaces de realizar ciclos completos de operaciones que se pueden repetir indefinidamente.*

[4]

La automatización de los procesos de producción persigue los siguientes objetivos:

- Mejorar la calidad y mantener un nivel de calidad uniforme.
- Producir las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Mejorar la productividad y reducir costes.
- Hacer más flexible el sistema productivo (facilitar los cambios en la producción). [5]

Estos objetivos se han convertido de hecho en requisitos indispensables para mantener la competitividad, por lo que el aumento del nivel de automatización de los procesos es simplemente una necesidad para sobrevivir en el mercado actual.

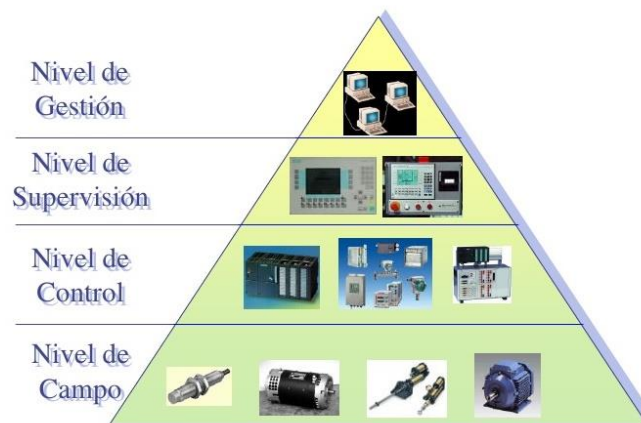
Según el grado de automatización puede hablarse de dos tipos: **completo y parcial**. La automatización completa se refiere en la producción masiva de productos homogéneos en

ciclo continuo (botellas de vidrio, fármacos, etc.), mientras que la automatización parcial es propia de la producción variable y limitada.

### 2.1.2. Modelo de automatización piramidal

Es el modelo más difundido en el ambiente de producción continua por la ISO, consta de cuatro niveles que abarcan las diferentes funciones de una planta coordinada de manera jerárquica, cubriendo desde los aspectos de control de los procesos físicos en su nivel más bajo, hasta los niveles donde se realizan las funciones corporativas de la planta.

Figura 1: Pirámide de la automatización



Fuente: [6]

Se pueden distinguir varios niveles en la automatización de un proceso productivo:

- El primer nivel o "nivel de campo" incluye los dispositivos físicos presentes en la industria, como los actuadores y sensores.
- El segundo nivel o "nivel de control" incluye los dispositivos controladores como ordenadores, PLCs, PIDs, etc.
- El "nivel de supervisión" corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).
- La cúspide de la pirámide ("nivel de gestión") la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP). [6]



### 2.1.3. Clasificación tecnológica

En función de la tecnología empleada para la implementación del sistema de control, se puede distinguir entre automatismos cableados y automatismos programados.

#### a) Automatismos cableados

Se implementan por medio de uniones físicas entre los elementos que forman el sistema de control (por ejemplo, contactores y relés unidos entre sí por cables eléctricos), la estructura de conexionado entre los distintos elementos da lugar a la función lógica que determina las señales de salida en función de las señales de entrada. [4]

#### b) Automatismos programados

Se implementan por medio de un programa que se ejecuta en un microprocesador, las instrucciones de este programa determinan la función lógica que relaciona las entradas y las salidas. Se pueden distinguir 2 formas de implementación: [4]

**Autómata programable industrial:** Hoy por hoy es el que más se utiliza en la industria, es un equipo electrónico programable en un lenguaje específico, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial de procesos secuenciales.

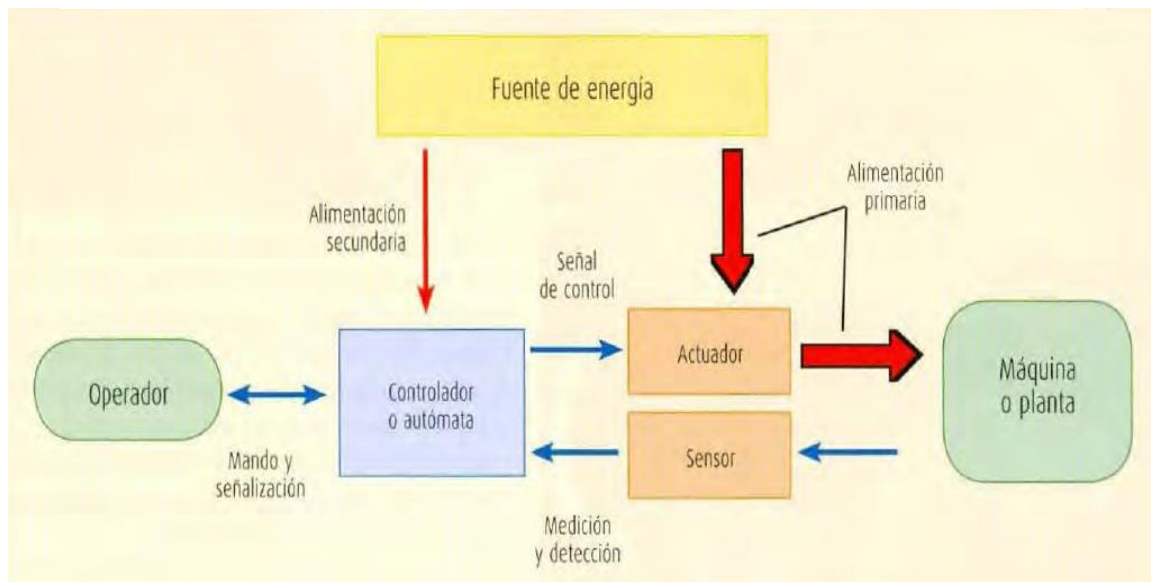
**Ordenador (PC industrial):** Cada vez se utilizan más, son ordenadores compatibles con los PC de sobremesa en cuanto a software, pero cuyo hardware está especialmente diseñado para ser robusto en entornos industriales.

Las ventajas más importantes de los automatismos programados son: Permiten una gran flexibilidad para realizar modificaciones o ampliaciones, permiten implementar funciones de control y de comunicación complejas y ocupan poco espacio. Estas ventajas serán propicias para el desarrollo del presente proyecto.

#### 2.1.4. Sistemas automatizados

Se define un sistema (maquina o proceso) automatizado como aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención humana) ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado. La figura muestra la estructura típica de un sistema automatizado.

Figura 2: Diagrama de bloques de un sistema de automatización



Fuente: [4]

Básicamente, los elementos o dispositivos que constituyen un automatismo son los siguientes:

**Máquina o planta:** Es el elemento principal objeto del control automático, puede estar constituido por un único aparato (motor eléctrico, bomba hidráulica, compresor de aire, máquinas, etc.) o por un conjunto de dispositivos dispuestos en planta con una finalidad concreta (climatización de zona, sistema de riego, cinta transportadora, etc.).

**Fuente de energía:** Es el medio empleado para realizar el control en un automatismo eléctrico este medio lo constituye la energía eléctrica aplicada en sus distintas formas, como las tensiones continuas o alternas de baja potencia para la alimentación de dispositivos de control



y señalización (alimentación secundaria) y/o aquellas otras de mayor potencia utilizadas para mover las máquinas o actuar sobre las plantas (alimentación primaria).

**Unidades de control:** En un proceso industrial, generalmente, se producen muchos ruidos que pueden interferir en la transmisión de las señales, en los elementos de control, etc. Por eso, dichos elementos y protocolos de comunicación tienen que ser robustos para soportar las duras condiciones del entorno. Así pues, se podría definir a las unidades locales de control mediante las siguientes características básicas:

- Deben ser capaces de controlar un proceso, subproceso, o variable de proceso industrial, a nivel de secuencia o de regulación.
- Deben soportar condiciones de trabajo extremas.
- Su localización en la planta debe ser cercana al proceso, evitando interferencias en las señales de control.
- Deben ser programables y/o configurables.

Los tres elementos básicos capaces de cumplir estas características son el autómata programable (PLC), el ordenador industrial, y los reguladores industriales.

**Actuador:** Es el dispositivo utilizado para modificar la aportación de energía que se suministra a la máquina o a la planta, el mayor o menor aporte energético que provoca el actuador está en consonancia con la señal de control que le suministra el controlador. Hallamos actuadores típicos en automatismos eléctricos en los relés, los contactores, las electroválvulas, las válvulas motorizadas, los tiristores, etc.

**Sensor:** Es el elemento empleado para medir o detectar la magnitud de la variable que deseamos controlar, adquiere o detecta el nivel del parámetro objeto de control y envía la correspondiente señal, habitualmente eléctrica, al dispositivo controlador. Los sensores de uso frecuente en automatismos son: los tacómetros, los codificadores digitales, los sensores de proximidad, o las sondas de temperatura, de presión o de nivel, etc.

**Operador:** Es el conjunto de elementos de mando y señalización que facilita el intercambio de información entre personas y automatismos para modificar o corregir las condiciones de actuación de la máquina o planta bajo control. Debemos considerar que la mayoría de los automatismos deben posibilitar que el ser humano incida de forma directa, y en el instante deseado, sobre el proceso, con el objetivo de solventar situaciones de avería, de mantenimiento o de emergencia. [4]

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Control
- Parte Operativa

**La Parte Operativa** es la parte que actúa directamente sobre la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, captadores como fotodiodos y finales de carrera.

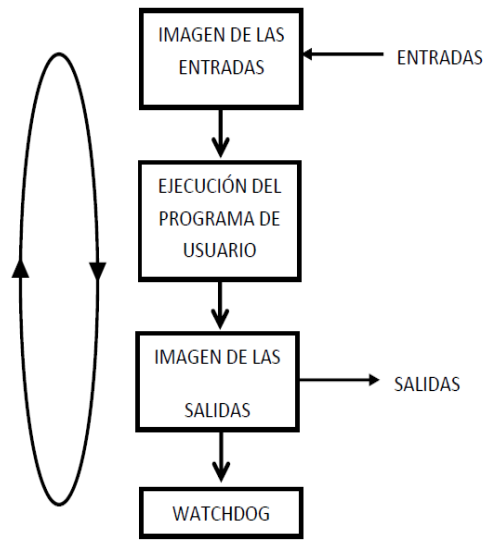
**La Parte de Control** suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. [7]

### **2.1.5. Autómatas programables**

Un autómata es un sistema secuencial que puede definirse como un equipo electrónico programable en lenguaje no informático y diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales.

Para ello el autómata va a poseer un ciclo de trabajo (SCAN), que se ejecutará de forma continua: [8]

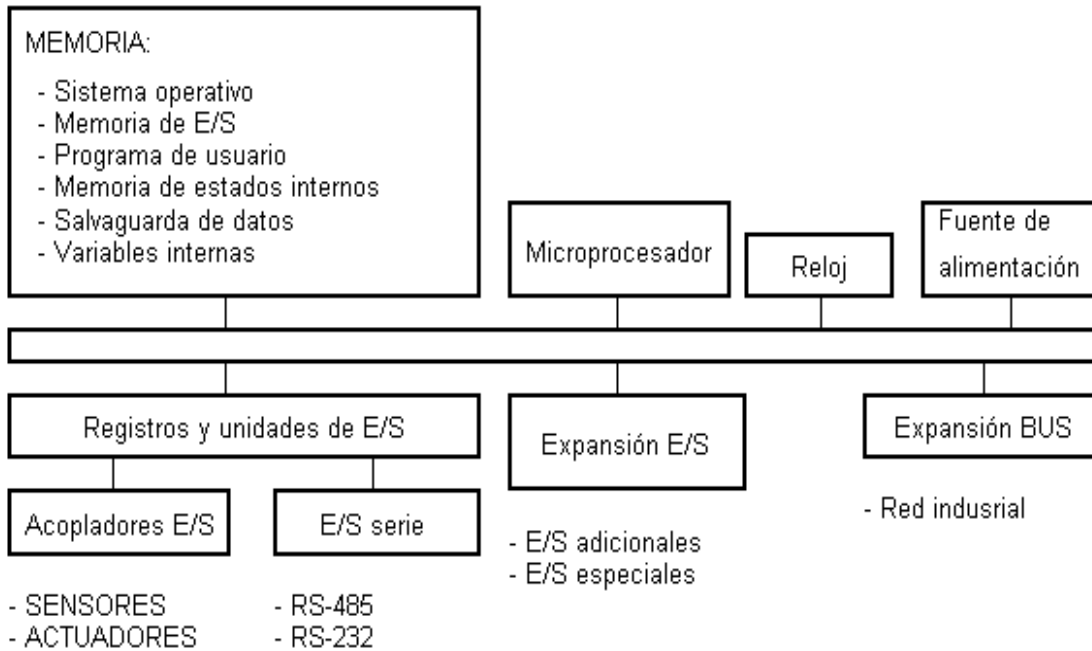
Figura 3: Ciclo de trabajo PLC



Fuente: [8]

Los elementos esenciales, que todo autómata programable posee como mínimo, son:

Figura 4: Estructura interna de un autómata programable



Fuente: [9]

- **Unidad central de proceso (CPU):** se encarga de procesar el programa de usuario que le introduciremos, para ello disponemos de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa.
- **Sección de entradas:** se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico, en ambos casos tenemos unos rangos de tensión característicos, los cuales se encuentran en las hojas de características del fabricante. A estas líneas conectaremos los sensores.
- **Sección de salidas:** son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas conectaremos los actuadores.  
  
Tanto las entradas como las salidas están aisladas de la CPU según el tipo de autómatas que utilicemos, normalmente se suelen emplear opto acopladores en las entradas y relés/opto acopladores en las salidas. Aparte de estos elementos podemos disponer de los siguientes:
  - **Unidad de alimentación** (algunas CPU la llevan incluida).
  - **Unidad o consola de programación:** que nos permitirá introducir, modificar y supervisar el programa de usuario.
  - **Dispositivos periféricos:** como nuevas unidades de E/S, más memoria, unidades de comunicación en red, etc.
  - **Interfaces:** facilitan la comunicación del autómatas mediante enlace serie con otros dispositivos (como un PC).
  - **Memoria:** Dentro de la CPU vamos a disponer de un área de memoria, la cual emplearemos para diversas funciones:
    - **Memoria del programa de usuario:** aquí introduciremos el programa que el autómatas va a ejecutar cíclicamente.
    - **Memoria de la tabla de datos:** se suele subdividir en zonas según el tipo de datos (como marcas de memoria, temporizadores, contadores, etc.).

- **Memoria del sistema:** aquí se encuentra el programa en código máquina que monitoriza el sistema (programa del sistema o firmware).
- **Memoria de almacenamiento:** se trata de memoria externa que empleamos para almacenar el programa de usuario, y en ciertos casos parte de la memoria de la tabla de datos. [9]

### 2.1.6. Control en tiempo real

Una de las características más importantes que se busca en un sistema de comunicaciones industrial es la capacidad de respuesta del mismo. Es decir, el tiempo que tardará una señal en transmitirse desde el punto de origen hasta el punto de evaluación (programa de control), y la ejecución de la acción necesaria, este tiempo suele denominarse como tiempo de respuesta, dicho tiempo depende de:

- ❖ El número de entradas /salidas involucradas.
- ❖ La longitud del programa de usuario.
- ❖ El número y tipo de periféricos conectados al autómata.

Por tanto, a este también son afectados los retardos de conmutación y adaptación de señal en las interfaces de entrada y salida y del tiempo de ciclo del autómata.

Un autómata es capaz de controlar en tiempo real a un proceso, si sus tiempos de respuesta o retardo resultan muy pequeños frente a los tiempos de reacción del mismo.

El tiempo mínimo está dada por: [10]

$$T_{\text{mínimo}} = T_{\text{entrada/retardo}} + T_{\text{ciclo}} + T_{\text{salida/retardo}}$$

### 2.1.7. Supervisión de procesos industriales

La labor de un supervisor representa una tarea delicada y esencial desde el punto de vista normativo y operativo; de esta acción depende en gran medida garantizar la calidad y eficiencia

del proceso que se desarrolla. En el supervisor descansa la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan.

De esta manera, existe software industrial que permite la implementación de sistemas de supervisión (sistemas SCADA), mediante los cuales un operario podrá controlar el proceso productivo a través de la visualización de variables en tiempo real. En caso de que se produzca alguna falla en la planta (alguna variable fuera de rango), el software permitirá al operario actuar sobre el proceso para corregirla. [11]

### **2.1.8. Sistema SCADA**

Damos el nombre de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.

Atendiendo a la definición vemos que no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel superior. [11]

Las características básicas de un sistema SCADA son las siguientes:

- Adquisición y almacenado de datos, para recoger, procesar y almacenar la información recibida de forma continua y confiable.
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas.
- Ejecutar acciones de control, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.), bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación (MS Excel, SQL).



- Presentación, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI (Human Machine Interface).
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios pueden ser almacenados en el sistema para su posterior análisis.

Los objetivos de un sistema SCADA son:

- ✓ **Economía:** es más fácil ver qué ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea, ciertas revisiones se convertirán en innecesarias.
- ✓ **Accesibilidad:** un parque eólico al completo (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), lo tenemos en un clic de ratón encima de la mesa de trabajo. Será posible modificar los parámetros de funcionamiento de cada aerogenerador, poniendo fuera de servicio los que den indicios de anomalías; consultar el estado de las estaciones transformadoras del parque, detener los molinos que no sean necesarios.
- ✓ **Mantenimiento:** la adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener datos de un proceso, almacenarlos y presentarlos de manera inteligible para un usuario no especializado. La misma aplicación se puede programar de manera que nos avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales.
- ✓ **Ergonomía:** es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible.
- ✓ **Flexibilidad:** cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización no significa un gasto en tiempo y medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran la instalación de un cableado o del contador.
- ✓ **Conectividad:** se buscan sistemas abiertos. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores

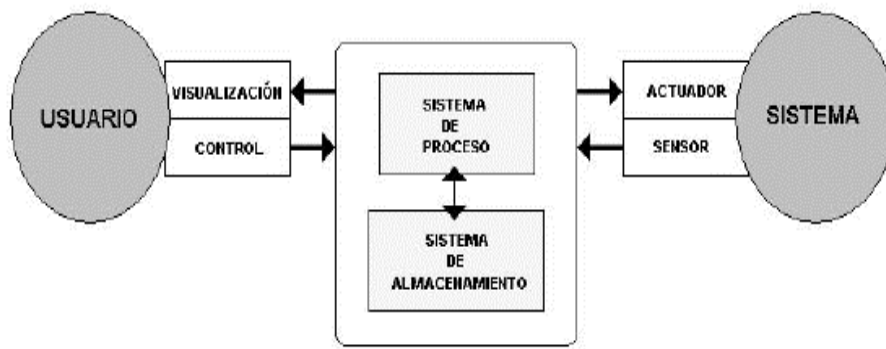
y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en la seguridad. [11]

Arquitectura general de un sistema SCADA:

Las primeras incursiones informáticas en el campo de la automatización localizaban todo el control en el PC y tendían progresivamente a la distribución del control en la planta. De esta manera, el sistema queda dividido en tres bloques principales:

- Software de adquisición de datos y control (Scada).
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicaciones).

Figura 5: Arquitectura general de un sistema SCADA



Fuente: [11]

El usuario, mediante herramientas de visualización y control, tiene acceso al Sistema de Control de Proceso, generalmente un ordenador donde reside la aplicación de control y supervisión (se trata de un sistema servidor), la comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicaciones corporativas (Ethernet).

El Sistema de Proceso capta el estado del Sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de las herramientas HMI, basándose en los comandos ejecutados por el usuario, el sistema de proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del Sistema a través de los elementos actuadores.



### 2.1.9. Topologías de redes industriales

La Topología define la disposición de los diferentes equipos alrededor del medio de transmisión de datos, determinando unas estructuras de red características:

#### Redes Centralizadas

- ❖ Todos los equipos están sujetos a un equipo central (Host) que controla todo el sistema. El Host debe ser un equipo potente para gestionar el tráfico de datos con eficiencia.
- ❖ El fallo de un terminal no afecta al funcionamiento de la red, pero si el fallo es en el Host, se paraliza todo.

#### Redes Distribuidas

- ❖ En este tipo de red, los equipos pueden ser máquinas sencillas que comparten las cargas de trabajo, los recursos y comunicaciones.
- ❖ El fallo de un terminal no afecta al resto de equipos.

#### Los Tipos de redes según extensión:

- ❖ **WAN (Wide Area Network):** Cubre necesidades internacionales (reserva de vehículos de alquiler) o nacionales (Seguridad Social).
- ❖ **MAN (Metropolitan Area Network):** Cubre necesidades a escala de una ciudad (gestión de edificios municipales).
- ❖ **LAN (Local Area Network):** Son las conocidas "Redes Locales". Son geográficamente limitadas (sobre 1Km de radio), y permiten interconectar de forma sencilla ordenadores situados en edificios próximos, que pueden ser de uso industrial, terciario o doméstico (Ethernet o FDDI). [9]

### 2.1.10. Red de comunicación industrial ETHERNET

Para soluciones eficientes de automatización con Industrial Ethernet, el ámbito industrial, dispone de una potente red de área y célula según el estándar IEEE 802.3 (Ethernet) y 802.11 (Wireless LAN). Actualmente Ethernet es, con una proporción de más del 80%, el número uno

en todo el mundo entre las redes LAN. Este sistema permite crear, con Industrial Ethernet, potentes redes de comunicación de gran extensión.

La tecnología Ethernet, con gran éxito desde hace muchos años, en combinación con switching y full dúplex, ofrece al usuario la posibilidad de adaptar el rendimiento necesario en su red de forma precisa a sus exigencias. La velocidad de transmisión de datos se puede elegir según las necesidades, porque la compatibilidad sin lagunas permite la introducción escalonada de la nueva tecnología. [9]

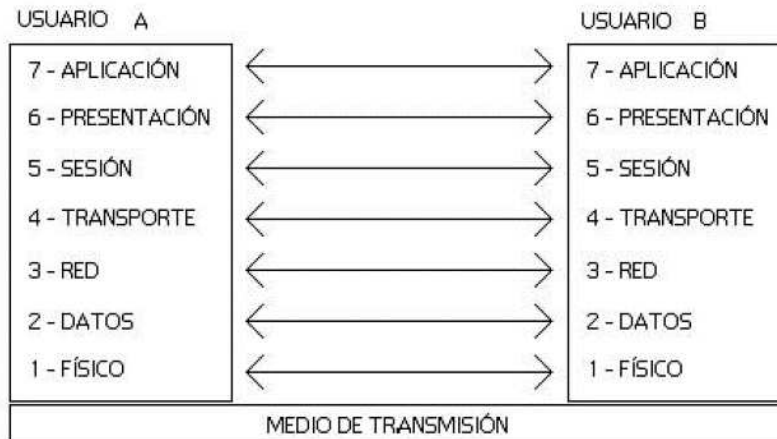
### **2.1.11. Modelo de referencia OSI**

La ISO (International Standards Organization) estableció, en 1977, un comité con el cometido de establecer las reglas para crear una arquitectura que determinara un modelo de referencia para la interconexión de sistemas de comunicación abiertos.

- ❖ El estándar final, ISO 7498, se publicó en 1984.
- ❖ Esta arquitectura se basa en un esquema de siete capas o niveles, que se superponen en mayor o menor medida.
- ❖ Básicamente, cada nivel se comunica con su nivel homólogo de otro sistema, haciendo servir de intermediarias las capas que tiene por debajo, creando una serie de canales que codifican (envío) y decodifican (recepción) la información.

De esta manera, el modelo de 7 niveles se ocupará de especificar el sistema de transmisión, el método de acceso a la red, y todo lo referente a cómo realizar un intercambio de información eficiente entre dos o más interlocutores. [9]

Figura 6: Niveles OSI



Fuente: [9]

De las siete capas, son indispensables los niveles 1,2 y 7.

Todas las redes de comunicación hacen servir, como mínimo, los niveles OSI situados en los extremos de la estructura de capas:

➤ Capa Física (1)

Define las topologías aceptadas, tipo de cable, el modo de emisión (forma de la señal) y el soporte de transmisión (Banda Base o Señal Portadora).

➤ Capa de Enlace (2)

Cómo se accede a la red, el método de acceso al bus y el direccionado de los equipos. Define los mecanismos del intercambio garantizando al emisor de un mensaje que el receptor lo ha recibido bien.

➤ Capa de Aplicación (7)

Se proponen diferentes servicios a los usuarios (mensajería, transferencia de ficheros, etc.). Determina los mecanismos de empleo de estos servicios.

Seguridad y coherencia del flujo de datos, mecanismos de recepción y envío.

Figura 7: Resumen de las 7 capas del modelo OSI

Nivel	Nombre	Función	Características (objetivo)
7	Aplicación ( <i>Application Layer</i> )	Funciones de usuario y servicios de comunicación.	<b>Intercambio de información:</b> los ficheros. R/W, Start/Stop, HTTP, FTP
6	Presentación ( <i>Presentation Layer</i> )	Conversión de los datos a un formato común entendible por todos los equipos.	<b>Lenguaje propio del equipo</b> para transmitir y recibir. (Idioma de intercambio: formato y encriptado de datos, seguridad y compresión)
5	Sesión ( <i>Session Layer</i> )	Control de las sesiones de comunicación (inicio, transcurso y final)	<b>Coordinación y fiabilidad</b> de la transmisión (hablar por turnos)
4	Transporte ( <i>Transport Layer</i> )	Garantizar un enlace fiable entre terminales. Formación y gestión de los paquetes de información.	<b>Transmisión segura.</b> TCP, UDP (medio de comunicación: fragmentación y reconstrucción de datos)
3	Red ( <i>Network Layer</i> )	Direccionamiento a través de sistemas (routing) y control de flujo.	<b>Comunicación entre redes.</b> IP, ARP (camino utilizados: <i>routing</i> )
2	Enlace de Datos ( <i>Data Link Layer</i> )	Método de acceso. Control de la transmisión de bits y detección y corrección de los errores.	<b>Utilización del medio:</b> control de errores, generación y envío de tramas) CRC, CSMA/CD, Token
1	Físico ( <i>Physical Layer</i> )	Características mecánicas y eléctricas del sistema físico de transporte.	<b>Adaptación al medio.</b> Tipo de cable. COAXIAL, PAR

Fuente: [9]

### 2.1.12. Norma de comunicación RS232

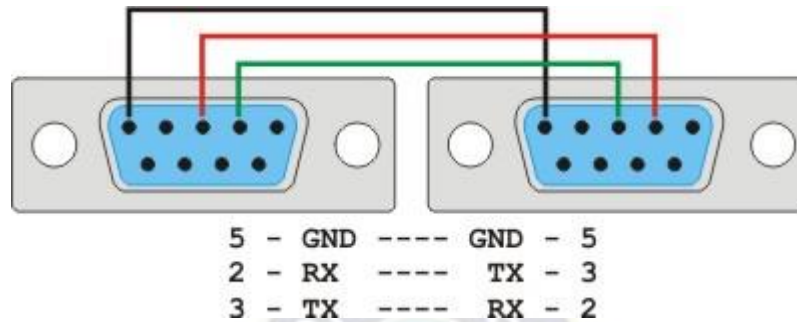
EIA/TIA RS-232C, es una interfaz que designa una norma para el intercambio de datos binarios serie entre un DTE ("Equipo Terminal de Datos"). El RS-232 consiste en un conector tipo DB-9 pines, más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos.

Las especificaciones básicas de RS232:

- Permite velocidades de 300,600, 1200, 2400, 4800, 9600,19200, 38400bps.
- Longitud máxima del cable: 15 metros (más si se usan cables cuya capacitancia total sea menor de 2500 pF),

- El interfaz debe poder soportar un cortocircuito de duración indefinida entre cualquier par de pines (En caso de CC la corriente no deberá superar los 0.5)

Figura 8: Conexión cable RS232



Fuente: [9]

### 2.1.13. Base de datos

Se define una base de datos como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa o negocio en particular. Entre las principales características tenemos:

- ✓ Independencia lógica y física de los datos.
- ✓ Acceso concurrente por parte de múltiples usuarios.
- ✓ Integridad de los datos.
- ✓ Seguridad de acceso y auditoría.
- ✓ Respaldo y recuperación.
- ✓ Acceso a través de lenguajes de programación estándar.

Las bases de datos a veces se clasifican de acuerdo a su enfoque organizativo. El enfoque más frecuente es la base de datos relacional, una base de datos tabular en la que los datos se definen de manera que puede ser reorganizada y se accede en un número de maneras diferentes.

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos son un tipo de software muy específico, dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Se compone de un lenguaje de definición de datos, de un lenguaje de manipulación de datos y de un lenguaje de consulta. [12]

## **2.2. Descripción de los aspectos metodológicos**

### **2.2.1. Guía de estudio de los modos de marcha y paro (GEMMA)**

La guía GEMMA procede de los trabajos llevados a cabo durante dos años por la ADEPA (agencia nacional francesa para el desarrollo de la producción aplicada a la industria), las siglas GEMMA designan (guía de estudio de los modos de marcha y paro). En el contexto de su creación, en 1993, se concibe para que esté en consonancia con las normas de seguridad de la Unión Europea, bajo la norma nacional francesa UTE C 03-191, se complementa con la representación GRAFCET y pretende dar cavidad a una metodología que incluya los modos de marcha y paro del control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado, junto con el funcionamiento deteriorado ante anomalías e incluso el tratamiento de situaciones de emergencia en previsión de posibles daños humanos o materiales. [13]

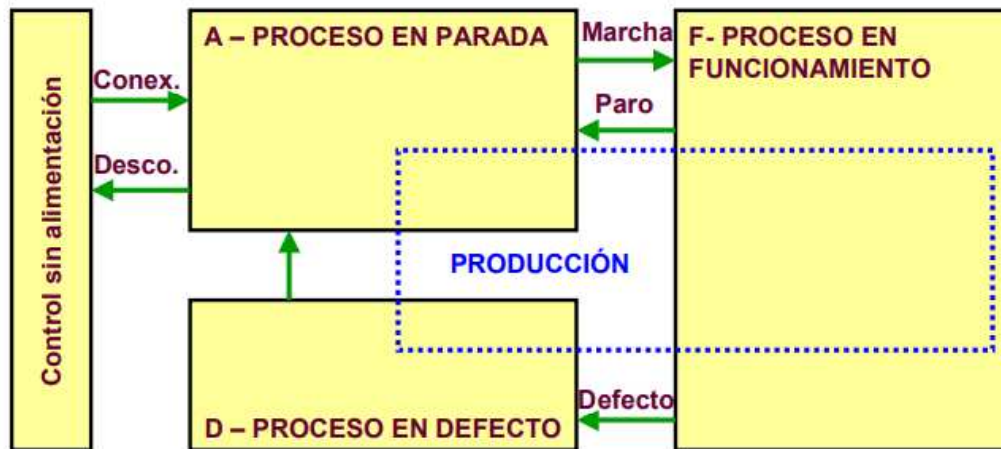
El control puede estar alimentado o sin alimentar, interesa el paso de un estado al otro. Cuando el control está alimentado, el sistema puede estar en:

- ✓ En funcionamiento
- ✓ Parado (o en proceso de parada)
- ✓ En defecto.

Puede haber producción en cada una de estas tres situaciones, la guía GEMMA representa cada una de las cuatro situaciones (sin alimentar, funcionamiento, parada y defecto) mediante sendos rectángulos y la producción mediante un quinto rectángulo que se interseca con los tres rectángulos principales.



Figura 9: Modos de funcionamiento según GEMMA



Fuente: [13]

Posibles estados en la guía GEMMA: [13]

### Grupo F: Procedimientos de funcionamiento

Este grupo contiene todos los modos de funcionamiento necesarios para la obtención de la producción; es decir los de funcionamiento normal (F1 a F3) y los de prueba y verificación (F4 a F6).

- ➔ **F1** Producción normal. Es el estado en el que la máquina produce normalmente, es decir hace la tarea para la que ha sido concebida. Al funcionamiento dentro de este estado se le puede asociar un GRAFCET que llamaremos GRAFCET de base. Este estado no tiene porque corresponderá un funcionamiento automático.
- ➔ **F2** Marcha de preparación. Corresponde a la preparación de la máquina para el funcionamiento (precalentamiento, preparación de componentes, etc.).
- ➔ **F3** Marcha de cierre. Corresponde a la fase de vaciado y/o limpieza que muchas máquinas han de realizar antes de parar o de cambiar algunas características del producto.

- **F4** Marchas de verificación sin orden. En este caso la máquina, normalmente por orden del operador, puede realizar cualquier movimiento (o unos determinados movimientos preestablecidos). Se usa para tareas de mantenimiento y verificación.
- **F5** Marchas de verificación en orden. En este caso la máquina realiza el ciclo completo de funcionamiento en orden, pero al ritmo fijado por el operador. Se usa para tareas de mantenimiento y verificación. En este estado existe la posibilidad de que la máquina produzca.
- **F6** Marchas de prueba. Permiten realizar las operaciones de ajuste y de mantenimiento preventivo.

#### **Grupo A: Procedimientos de parada**

Este grupo contiene todos los modos en los que el sistema está parado (A1 y A4), los que llevan a la parada del sistema (A2 y A3) y los que permiten pasar el sistema de un estado de defecto a un estado de parada (A5 a A7). Corresponden a todas las paradas por causas externas al proceso.

- **A1** Parada en el estado inicial. Es el estado normal de reposo de la máquina. Se representa con un rectángulo doble. La máquina normalmente se representa en este estado (planos, esquema eléctrico, esquema neumático, etc.) que se corresponde, habitualmente, con la etapa inicial de un GRAFCET.
- **A2** Parada pedida a final de ciclo. Es un estado transitorio en el que la máquina, que hasta aquel momento estaba produciendo normalmente, debe producir sólo hasta acabar el ciclo actual y pasar a estar parada en el estado inicial.
- **A3** Parada pedida en un estado determinado. Es un estado transitorio en el que la máquina, que hasta aquel momento estaba produciendo normalmente, debe producir sólo hasta llegar a un punto del ciclo diferente del estado inicial.
- **A4** Parada obtenida. Es un estado de reposo de la máquina diferente del estado inicial.



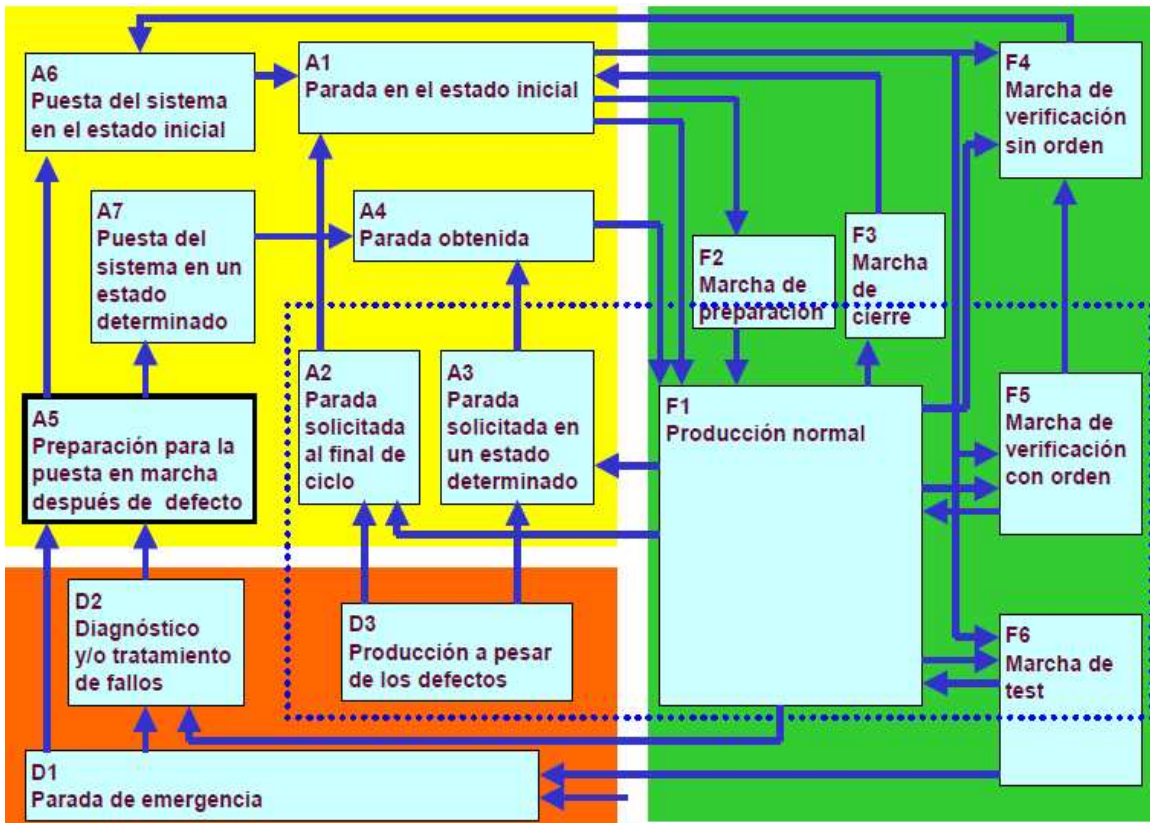
- **A5** Preparación para la puesta en marcha después del defecto. Corresponde a la fase de vaciado, limpieza o puesta en orden que en muchos casos se ha de hacer después de un defecto.
- **A6** Puesta del sistema en el estado inicial. El sistema es llevado hasta la situación inicial (normalmente situación de reposo); una vez realizado, la máquina pasa a estar parada en el estado inicial.
- **A7** Puesta del sistema en un estado determinado. El sistema es llevado hasta una situación concreta diferente de la inicial; una vez realizado, la máquina pasa a estar parada.

#### **Grupo D: Procedimientos de defecto**

Este grupo contiene todos los modos en los que el sistema está en defecto tanto si está produciendo (D3), está parado (D1) o está en fase de diagnóstico o tratamiento del defecto (D2). Corresponden a todas las paradas por causas internas al proceso.

- **D1** Parada de emergencia. No tan solo contiene la simple parada de emergencia sino también todas aquellas acciones necesarias para llevar el sistema a una situación de parada segura.
- **D2** Diagnóstico y/o tratamiento de los defectos. Permite, con o sin ayuda del operador, determinar las causas del defecto y eliminar-las.
- **D3** Producción a pesar de los defectos. Corresponde a aquellos casos en los que se debe continuar produciendo a pesar de que el sistema no trabaja correctamente. Incluye los casos en los que, por ejemplo, se produce para agotar un reactivo no almacenable o aquellos otros en los que no se sigue el ciclo normal dado que el operador sustituye a la máquina en una determinada tarea a causa de una avería.

Figura 10: Estados completos de la guía GEMMA



Fuente: [13]

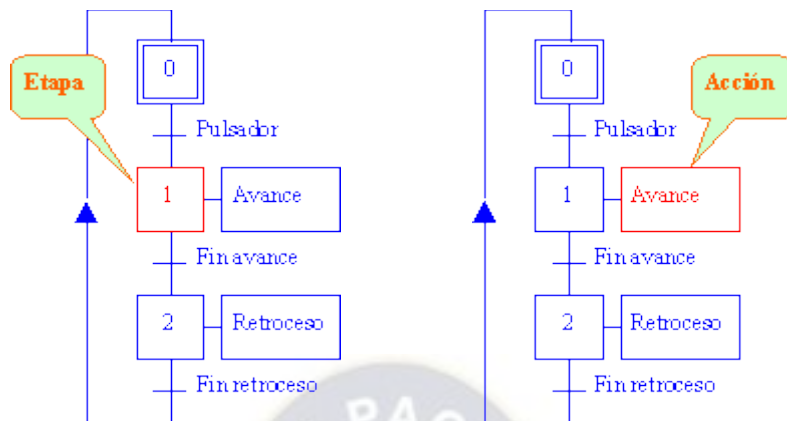
### 2.2.2. Diagrama de control con etapas y transiciones (GRAF CET)

El GRAFCET es un método gráfico, evolucionado a partir de las redes de Petri que permite representar los sistemas secuenciales, la creación del GRAFCET fue necesaria, entre otros motivos, por las dificultades que comportaba la descripción de automatismos con varias etapas simultáneas utilizando el lenguaje normal. En el año 1988, el GRAFCET es reconocido por una norma internacional, la IEC-848, bajo el nombre de diagramas funcionales para sistemas de control.

#### Principios de funcionamiento

Un GRAFCET es una sucesión de etapas. Cada etapa tiene sus acciones asociadas de forma que cuando aquella etapa está activa se realizan las correspondientes acciones; pero estas acciones no podrán ejecutarse nunca si la etapa no está activa.

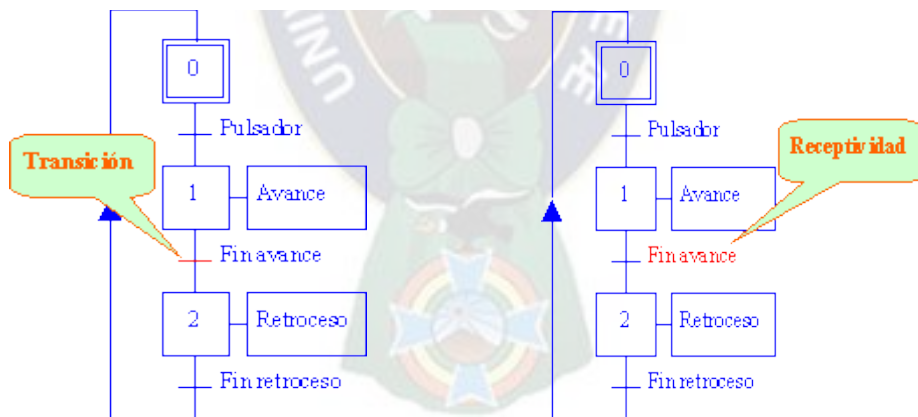
Figura 11: Diagramas de control con etapas y transiciones



Fuente: [21]

Entre dos etapas hay una transición. A cada transición le corresponde una receptividad, es decir una condición que se ha de cumplir para poder pasar la transición. Una transición es válida cuando la etapa inmediatamente anterior a ella está activa. Cuando una transición es válida y su receptividad asociada se cumple se dice que la transición es franqueable.

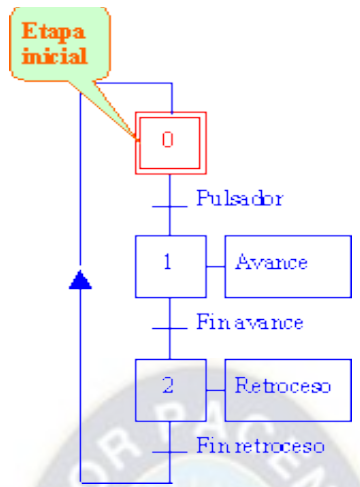
Figura 12: Control de receptividad GRAFCET



Fuente: [21]

Al franquear una transición se desactivan sus etapas anteriores y se activan las posteriores. Las etapas iniciales, que se representan con línea doble, se activan en la puesta en marcha.

Figura 13: Etapa inicial de GRAFCET



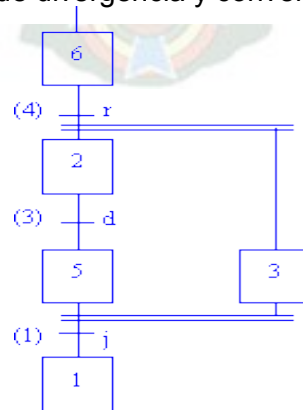
Fuente: [21]

### Paralelismo estructural

A partir de una determinada etapa, hay dos (o más) secuencias que se ejecutan simultáneamente, no es necesario que las distintas secuencias tengan el mismo número de etapas.

El inicio de secuencias paralelas se indica con una línea horizontal doble después de la transición correspondiente. De forma similar, el final de las secuencias paralelas se indica con otra línea horizontal doble antes de la transición correspondiente; esta transición sólo es válida cuando todas las etapas inmediatamente anteriores están activas.

Figura 14: Estructura de divergencia y convergencia en Y (AND)



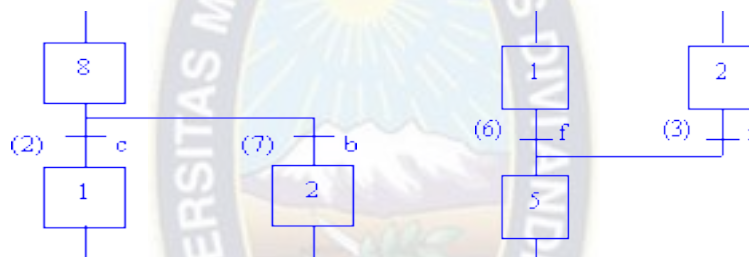
Fuente: [21]

### Paralelismo interpretado

El paralelismo interpretado aparece cuando una etapa tiene dos (o más) salidas y las transiciones correspondientes no son excluyentes.

En la figura, si c y b son ciertas a la vez, se activarán las etapas 1 y 2 simultáneamente. Así pues, si en la estructura de selección de secuencia no se garantiza que las receptividades son excluyentes, se tendrá un paralelismo interpretado en el caso de que ambas receptividades se hagan ciertas al mismo tiempo o en el caso de que ambas sean ciertas cuando se validen las correspondientes transiciones.

Figura 15: Estructura de divergencia y convergencia en O (OR)

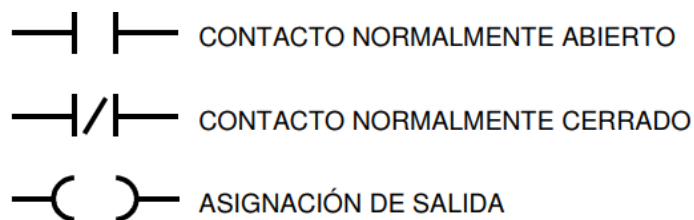


Fuente: [21]

### 2.2.3. Lenguaje escalera (LADDER)

Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés. Mediante símbolos representa contactos, bobinas, etc. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes. Los símbolos básicos son:

Figura 16: Símbolos básicos lenguaje escalera



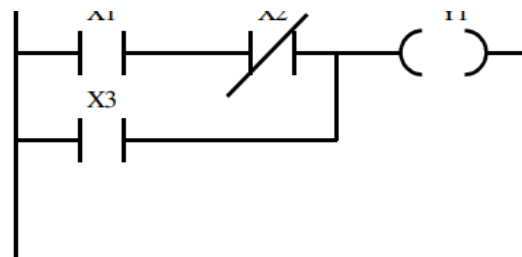
Fuente: [20]

En estos diagramas la línea vertical a la izquierda representa un conductor con tensión, y la línea vertical a la derecha representa tierra.

Con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC.

Se debe recordar que mientras que en el diagrama eléctrico todas las acciones ocurren simultáneamente, en el programa se realizan en forma secuencial, siguiendo el orden en el que los "escalones" fueron escritos en el PLC, se puede considerar que existen infinitos contactos auxiliares para cada entrada, salida o relé auxiliar.

Figura 17: Estructura lenguaje escalera



Fuente: [21]

## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1. Análisis e identificación de requerimientos

A partir de la entrevista realizada al gerente de EXE se determinó el proceso requerido para el desarrollo de un nuevo sistema de control y supervisión, los cuales toman como base la misión y visión de la empresa.

❖ *Misión*

“Ofrecer a nuestros clientes calidad, confiabilidad y durabilidad de nuestros productos y servicios según su requerimiento”

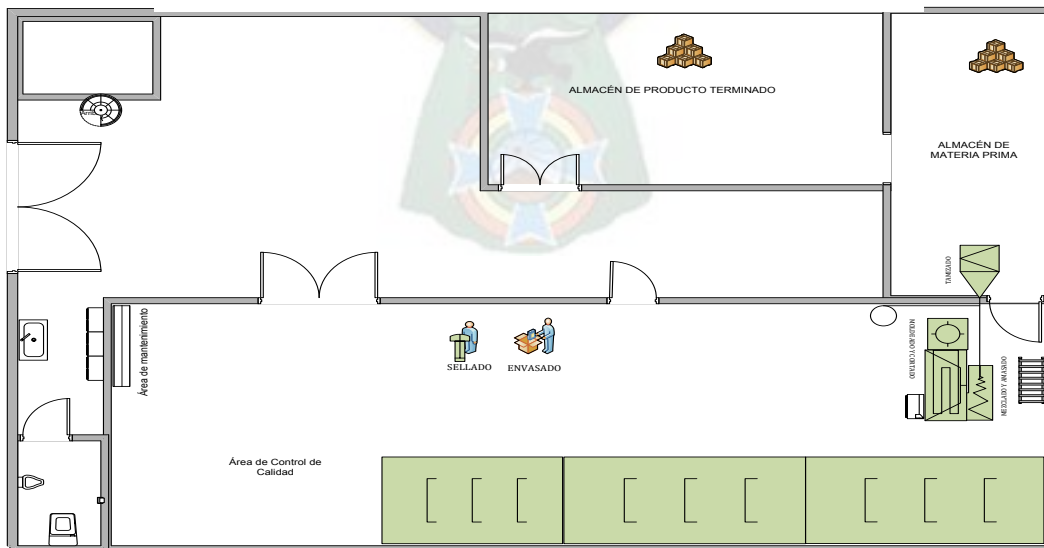
❖ *Visión*

“Expandir nuestro mercado, incrementando la calidad de nuestro servicio, con nuevas técnicas en cuanto a calidad, seguridad e innovación.”

#### Distribución y procesos de la planta industrial

La planta industrial de elaboración de pastas alimenticias cuenta con el área de: almacén de materia prima, producción, control de calidad, almacén de producto terminado, los cuales están distribuidas de la siguiente forma:

Figura 18 : Croquis de distribución de ambiente de planta



Fuente: Empresa EXE



Dentro del área de producción se encuentran los siguientes procesos para la elaboración de pastas alimenticias que son:

### **1) Recepción de materia prima.**

Las principales materias primas que se utilizan, llegan a la empresa y son almacenadas temporalmente en el almacén de materia prima.

La harina antes de pasar al proceso de producción tiene que ser aprobadas, para lo cual se toma una muestra de los lotes y se analizan en el área de control de calidad. Una vez aprobadas son liberadas.

### **2) Tamizado.**

El objetivo de este proceso es separar las impurezas que puede traer la harina, así como también cualquier otro objeto extraño. Consiste en verter la harina en la tolva de alimentación, para hacer pasar la harina por los poros del tamiz atravesándolo y las impurezas queden retenidas por él mismo.

Para el efecto, se cuenta con un tamiz vibratorio que favorece al cernido de las impurezas hacia un extremo.

### **3) Dosificado.**

El proceso de dosificado cuenta con tres secciones: dosificado de agua, dosificado de harina y la combinación de agua y harina. Las harinas se dosifican a través de tuberías impulsadas por aire generadas por el ciclón.

El agua es dosificada por un operario de la fábrica. La estructura que presenta el sistema de dosificado de agua consta de un tanque de acero inoxidable, con forma cilíndrica y color negro, con una altura de 1,5m y radio de 50cm, el cual es alimentado por tuberías de 1/2 plg, suministrada por la conexión de agua potable que pasa por un filtro de purificación.



#### **4) Mezclado y amasado.**

Los ingredientes dosificados se mezclan y amasan en las tolvas respectivas, en tiempos precisos y concretos. El amasado se realiza a través de paletas hasta formar una masa homogénea, consistente y con determinada humedad.

#### **5) Moldeado.**

La masa se empuja y comprime a través de la extrusora, haciendo pasar por presión a la masa por el molde que le va a dar la forma definitiva. Estos moldes se cambian dependiendo del formato que se desea realizar.

El cual puede ser:

- Pasta corta.
- Pasta rosca.

#### **6) Cortado y Resecado.**

En el caso de pasta corta, la masa moldeada es cortada, según el tamaño requerido, por cuchillas rotativas, y las unidades pasan a la siguiente etapa.

Al mismo tiempo que es cortada la pasta, gracias a un ventilador recibe la primera ráfaga de aire que permite un secado inicial del producto.

Una vez cortado y pre-secado, la pasta es acomodado en bandejas de red y transportado en carros hacia el secadero.

En el caso de la pasta rosca una vez moldeada y pre-secada, son cortados y nivelados manualmente con cuchillos y antes de pasar al secador son enroscados sobre las bandejas.

## 7) Secado.

La pasta entra al secador, en el cual el porcentaje de humedad del producto se reduce de manera significativa hasta llegar a la humedad deseada.

En este proceso se controla la temperatura, debido a que las pastas se secan de adentro hacia fuera.

Este proceso consta de las siguientes fases:

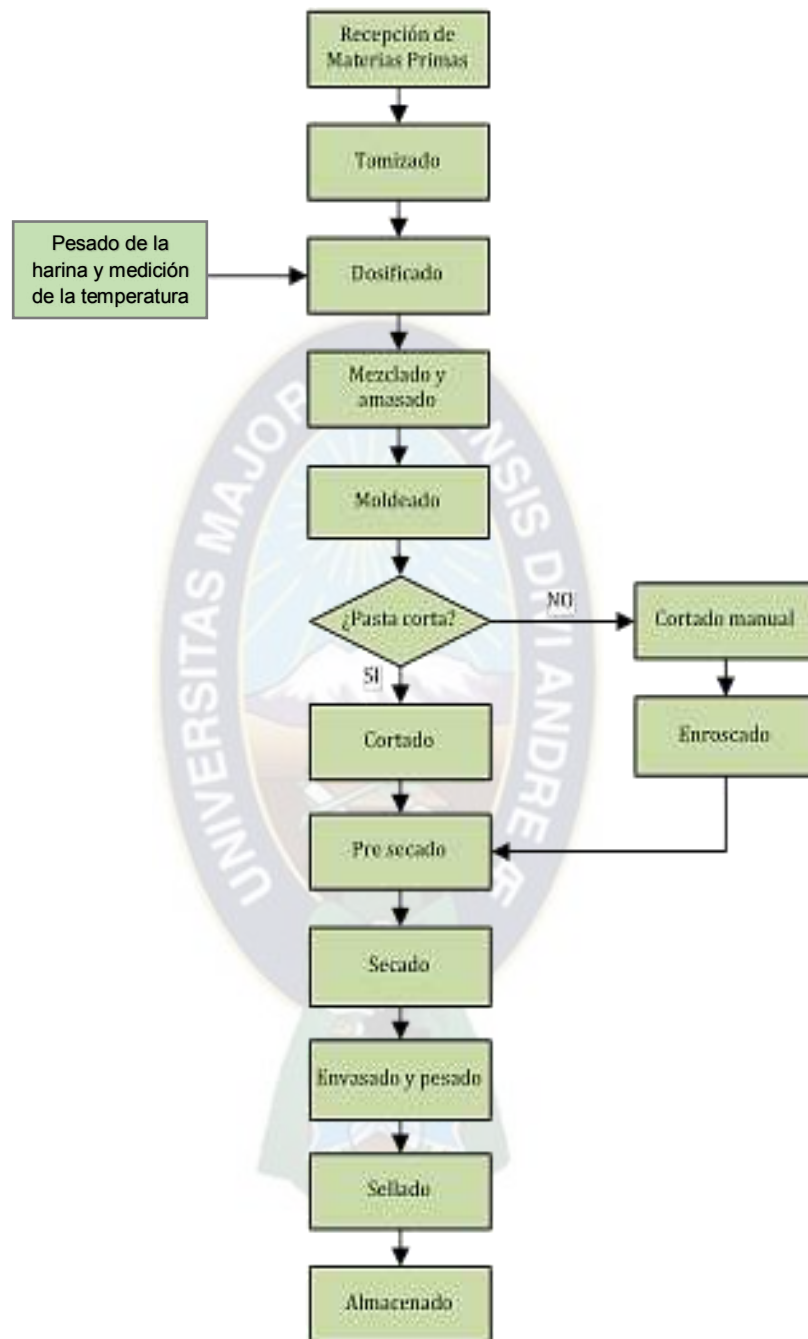
- **Encartado:** La pasta es sometida a una elevada temperatura con el fin de secar rápidamente la superficie de la pasta y así evitar deformaciones durante todo el proceso.
- **Secado:** Se realiza de forma lenta para evitar el trizado, mediante circulación de aire caliente y humedad controlada. El tiempo de duración dependerá de la variedad de pastas a elaborarse.
- **Enfriamiento:** Se tiene un enfriamiento ligero por ventilación a la temperatura ambiente, para evitar un choque térmico en la etapa del envasado.

## 8) Envasado, pesado y sellado.

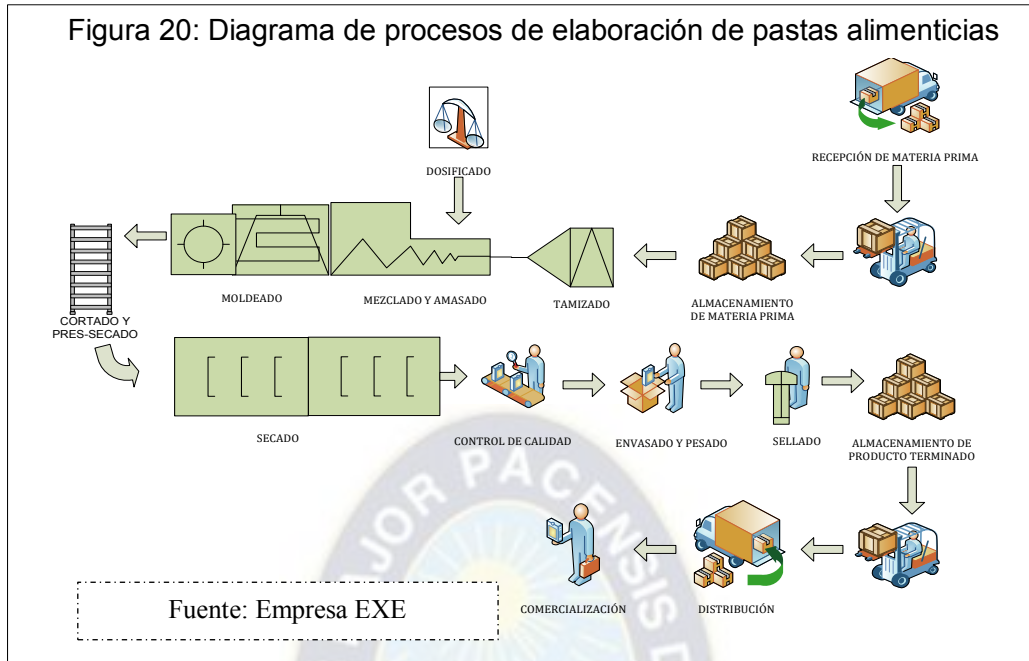
La pasta corta es llevada y vaciada en una tolva, al mismo tiempo, se abre la compuerta de la tolva para el respectivo envasado manual en bolsas de plástico, para lo cual se tiene una balanza donde se controlan el peso neto de los fideos.

Una vez envasado es sellado por el extremo de llenado a través de una selladora de mordazas metálicas calientes, las cuales por medio de presión se sellan.

Figura 19: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pastas alimenticias



Fuente: Empresa EXE



Cada uno de los procesos mencionados cuenta con uno o dos motores para su funcionamiento y que a partir de todos esos procesos identificados dentro de la planta industrial de pastas alimenticias se ha determinado el requerimiento de los siguientes elementos:

#### Elementos tangibles dentro del tablero eléctrico

- Un controlador lógico programable (PLC), que ayude en la creación del sistema de supervisión y control, con entradas y salidas que satisfagan la cantidad de transductores y actuadores requeridos para el proceso de producción, debe contar con entradas de tipo analógico para el control de la temperatura y con la capacidad de comunicarse con otros elementos de control, mediante interfaces de comunicación.
- Transmisor de datos analógicos, capaz de transformar la temperatura en una variable eléctrica a fin de poder ser leída por el PLC escogido.
- Dispositivo que varíe la frecuencia del motor, para tener distintos tamaños de corte mediante la variación de la velocidad.
- Dispositivo que suministre de energía a todos los elementos de control.

- Se requerirá de dos dispositivos de visualización usuario –máquina, que comprendan el proceso de control, visualizando todas las variables de campo. Una representará las variables de forma local y la otra de forma remota.
- Contactores y relés, que sean capaces de soportar cantidades de corriente elevada para el manejo de motores asíncronos destinados al funcionamiento de cada proceso productivo.
- Luces de señalización ON/OFF de todo el proceso, pulsadores, llaves, cable ductos, rieles din, paradas de emergencia, borneras, breaker y térmicos como elementos secundarios, pero de igual importancia para la conectividad y funcionamiento del sistema.
- Todos los elementos descritos estarán acomodados de forma ordenada dentro de un tablero de control eléctrico tipo pupitre.

#### Elementos tangibles fuera del tablero eléctrico

- Los motores eléctricos trifásicos, designados a cada etapa del proceso de la línea industrial de pastas alimenticias.
- Un sensor que mida el nivel de líquido a ser dosificado al proceso de mezclado y amasado de la harina.
- Un sensor que mida la temperatura de forma precisa en el tanque de líquido a ser dosificado.
- Un calentador térmico para mantener la temperatura en el tanque de líquido a una deseada por el operador de la línea industrial de pastas alimenticias.
- Dos dispositivos que controlarán el paso el ingreso y la salida del líquido en el tanque.
- Todos los dispositivos descritos son externos al tablero de control y estarán instalados de la mejor forma dentro de la línea industrial de pastas alimenticias.

### 3.2. Especificaciones del proyecto dentro del tablero eléctrico

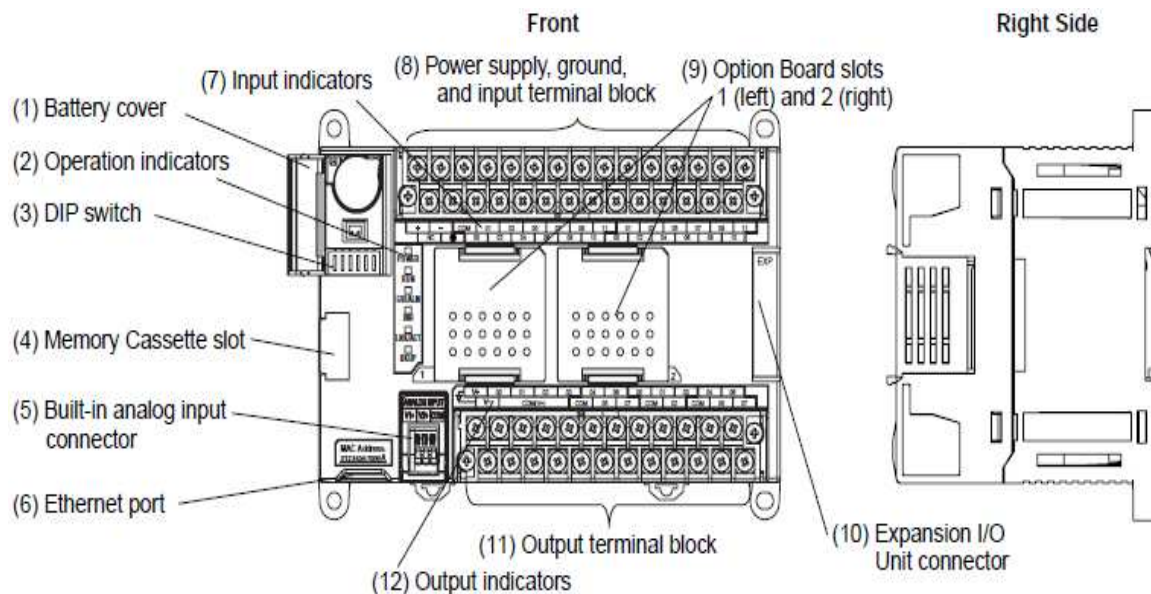
El equipo de control y potencia utilizados de acuerdo a las características y requerimientos del proceso de fabricación de pastas alimenticias son:

#### 3.2.1. Controlador lógico programable SYSMAC OMRON CP1L – EM40DR

Se ha definido que el PLC de la marca OMRON, modelo CP1L, es el más adecuado para el control de la línea industrial de pastas alimenticias, debido a su alta compatibilidad con equipos de otros fabricantes, interfaz de programación amigable con múltiples herramientas para la automatización y un software supervisor especializado para PLCs de la marca OMRON. Este equipo cuenta con la siguiente estructura:

1. Puerto USB programador.
2. Entradas y salidas (E/S) de 40 puntos.
3. Alimentación de 24 Voltios corriente directa (DC).
4. Salidas tipo relé.
5. Batería.
6. Indicadores de operaciones.
7. Interruptores de selección para comunicación.
8. Ranuras para memoria.
9. Conector de entradas analógicas.
10. Ranuras para tarjetas de expansión.

Figura 21: Partes del PLC OMRON



Fuente: [8]



El autómata presenta tres modos de funcionamiento, que se pueden configurar en el SETUP del PLC o a través de la consola o el software de programación. No hay un interruptor que controle el modo de funcionamiento de forma externa, ha de hacerse a través del puerto de comunicaciones. [8]

- ❖ STOP/PROG: Detiene el funcionamiento de los programas. En este modo se realiza la transferencia de los programas al autómata.
- ❖ RUN: Es el modo normal de funcionamiento. El autómata ejecuta el programa de forma autónoma en función de las E/S. No existe comunicación con el software.
- ❖ MONITOR: Es igual al modo RUN, pero con comunicaciones a través del cable de programación, normalmente se utilizará para probar y monitorizar un nuevo programa.

El estado y comportamiento del PLC, según cada uno de los modos de funcionamiento se resume en la siguiente tabla:

Figura 22: Modos de funcionamiento PLC OMRON

Modo de operación		PROGRAM	RUN	MONITOR
Ejecución del programa		Parado	En ejecución	En ejecución
Refresco de E/S		En ejecución	En ejecución	En ejecución
Estado de las E/S externas		OFF	Según programa	Según programa
Memoria E/S	Memoria remanente	Mantenida	Según programa	Según programa
	Memoria no remanente	Borrada		

Fuente: [8]

Podemos conocer el modo en que se encuentra el PLC mediante cuatro indicadores luminosos tipo LED, visibles sobre la carcasa frontal:

En los CP1L tendremos 6 LED de estado, la conexión será por cable USB o RJ45 y tendremos uno o dos módulos de ampliación en los que podremos conectar distintos interfaces de comunicación (RS232, RS485, RJ45 o panel de operación).

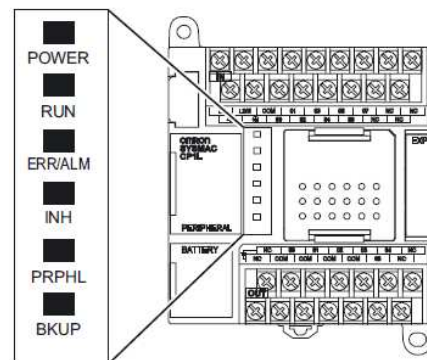


Figura 23: Resumen de los modos de funcionamiento PLC OMRON

POWER (verde)	Iluminado	La unidad está encendida.
	Apagado	La unidad está apagada.
RUN (verde)	Iluminado	CP1L/CP1E está ejecutando un programa en modo RUN o MONITOR.
	Apagado	El funcionamiento se ha detenido en modo PROGRAM, o bien se ha interrumpido como consecuencia de un error fatal.
ERR/ALM (rojo)	Iluminado	Se ha producido un error fatal (incluida la ejecución de una instrucción FALS) o un error de hardware (error de temporizador de guarda o watchdog, WDT). CP1L/CP1E interrumpirá su funcionamiento y todas las salidas se pondrán en OFF.
	Parpadeando	Se ha producido un error no fatal (incluida la ejecución de una instrucción FAL). CP1L/CP1E continuará funcionando.
	Apagado	Funcionamiento normal.
INH (amarillo)	Iluminado	El bit de salida OFF (A500.15) se ha puesto en ON. Todas las salidas se pondrán en OFF.
	Apagado	Funcionamiento normal.
PRPHL (amarillo)	Parpadeando	Existen comunicaciones activas (enviando o recibiendo) en el puerto USB de periféricos.
	Apagado	Cualquier otro estado.
BKUP (amarillo)	Iluminado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidades CPU CP1L                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se están leyendo o escribiendo el programa, los parámetros o la memoria de datos de usuario desde la memoria flash incorporada (memoria de copia de seguridad).</li> <li>• Se están leyendo o escribiendo el programa, los parámetros, la memoria de datos de usuario, los valores predeterminados de DM o la memoria de comentarios desde el cassette de memoria.</li> <li>• Los programas, parámetros y memoria de datos de usuario se están restableciendo tras encender el PLC.</li> </ul> </li> <li>• Unidades CPU CP1E                             <ul style="list-style-type: none"> <li>El programa de usuario, los parámetros o los canales de área DM especificados se están escribiendo en la memoria de backup (EEPROM incorporada).</li> </ul> </li> </ul> Nota: No desconecte la alimentación del PLC mientras este indicador permanezca iluminado.
	Apagado	Cualquier otro estado.

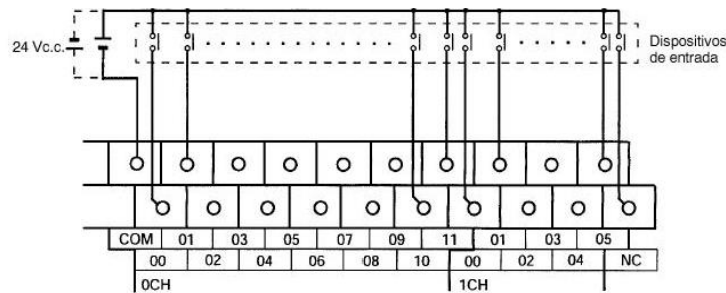
Fuente: [8]

## Entradas

La unidad de entradas es el medio por el que el autómatas recibe la información del entorno.

Para activar una entrada deberemos enviar un impulso o bien mantener un valor de tensión en un rango determinado entre el borne común y la entrada.

Figura 24: Conexión de entradas PLC OMRON



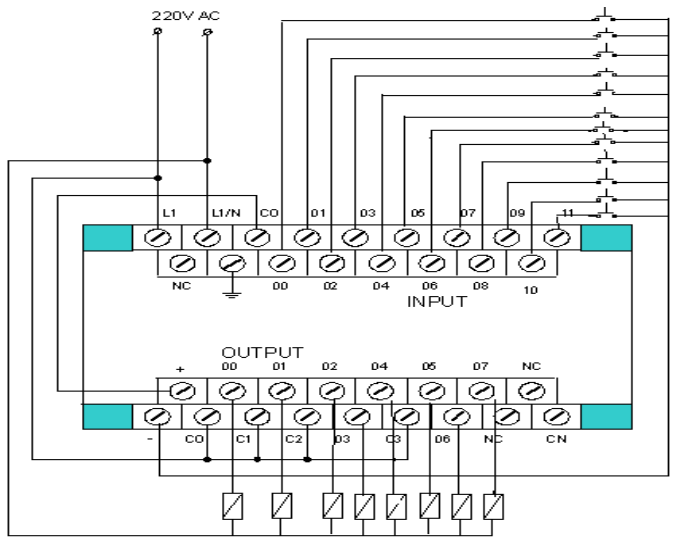
Fuente: [8]



## Salidas

Son las encargadas de transmitir las órdenes dadas por la CPU del autómata en función de la programación al sistema automatizado, estas no deben sobrepasar la corriente máxima que soporta el PLC.

Figura 25: Conexión de salidas PLC OMRON



Especificación Salida Relé	
Salida	2 A (24 V cc ó 250 V ca)
Común	4 A / común
Especificación Salida transistor	
Salida	300 mA (4,5 a 30 VDC)
Común	0,9 A / común

Fuente: [8]

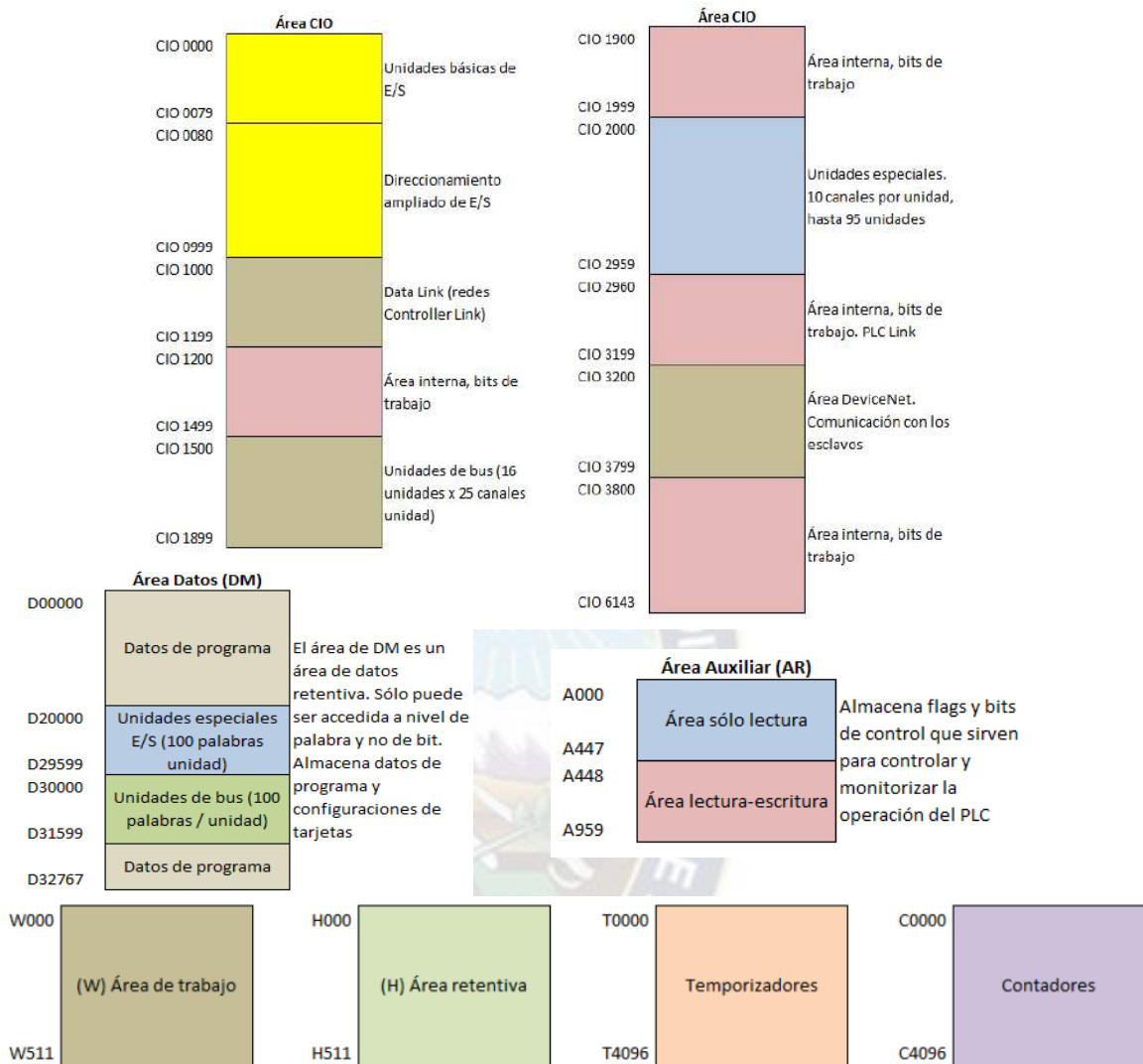
## Áreas de memoria

La memoria del autómata se encuentra dividida en dos áreas fundamentales, cada una con funciones y características distintas:

- Área de Programa: Donde se almacena el programa del PLC.
- Área de Datos: Se utiliza para almacenar valores o para obtener información sobre el estado en que se encuentra el autómata.

Los autómatas de OMRON trabajan normalmente en canales, esto es, en unidades de 16 bits, aunque para determinadas operaciones puede utilizar más de un canal.

Figura 26: Áreas de memoria PLC OMRON

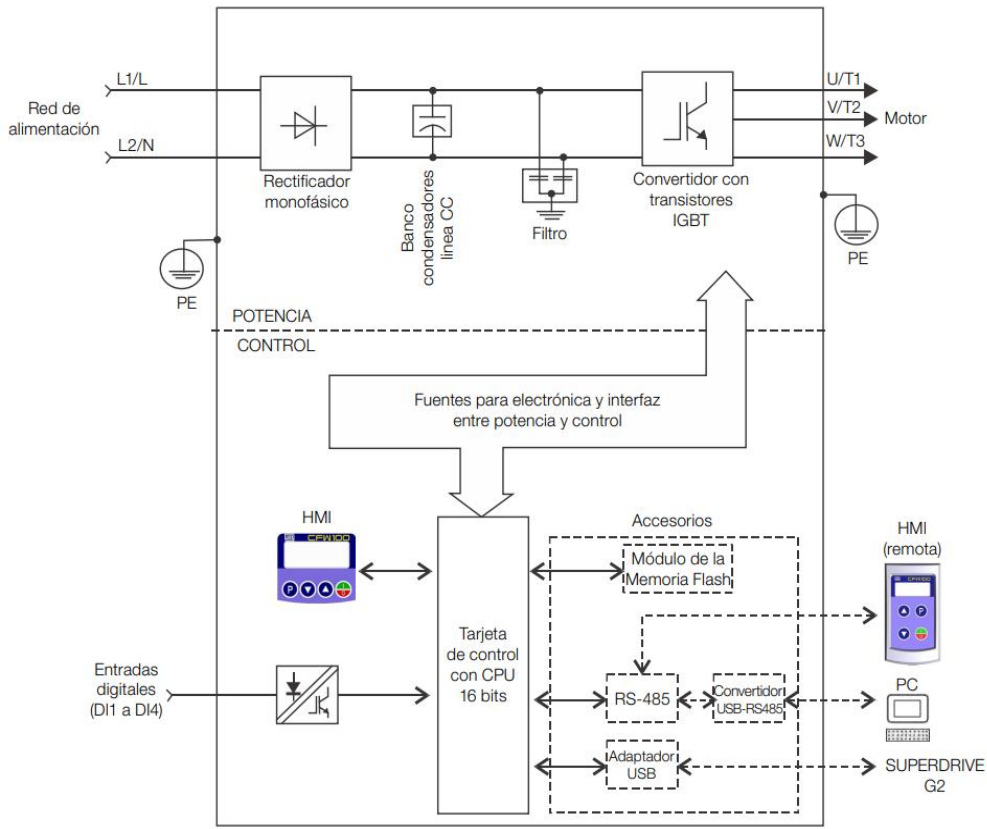


Fuente: [8]

### 3.2.2. Variador de frecuencia WEG CFW100

El variador de frecuencia de la marca WEG es un sistema para el control de velocidad rotacional de un motor trifásico de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor, este equipo es el ideal para el cambio de las múltiples velocidades en la etapa de cortado.

Figura 27: Diagrama de bloques variador de frecuencia

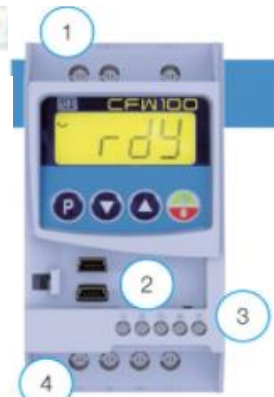


Fuente: [14]

El convertidor de frecuencia CFW100 es un producto de alta calidad que permite el control de velocidad y torque de motores de inducción trifásicos. Este producto proporciona al usuario las opciones de control vectorial (VVW) o escalar (V/f), ambos programables de acuerdo con la aplicación. [14]

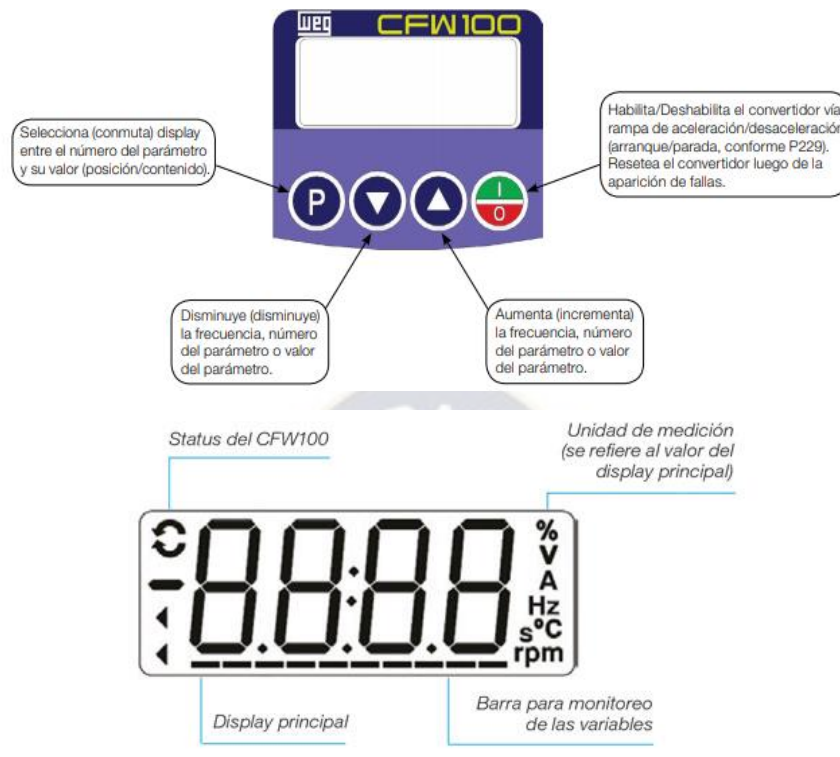
Figura 28: Nombre de las terminales VF

- 1 – Terminales de alimentación
- 2 – Modulo plug in
- 3 – Entradas digitales
- 4 – Terminales del motor



Fuente: [14]

Figura 29: Botones de operación HMI - VF



Fuente: [14]

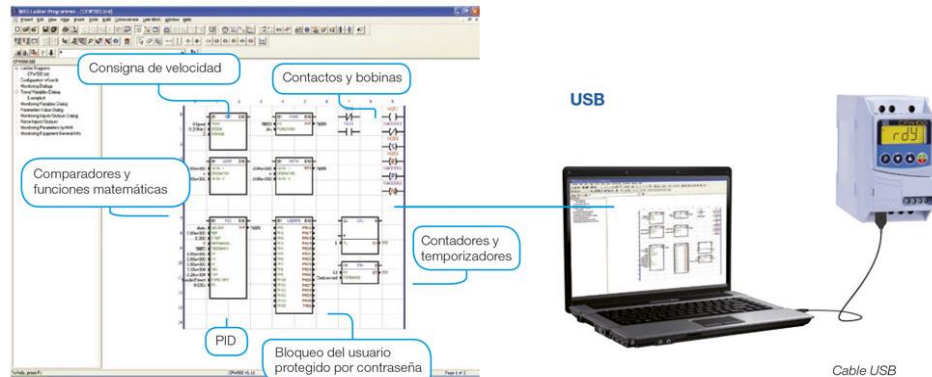
## Beneficios

- Reducción de espacio en el tablero eléctrico.
- Ahorro de energía.
- Evita la parada y la inactividad de la máquina.
- Alta confiabilidad.
- Evita daños al convertidor que puedan ser causados por situaciones adversas, normalmente factores externos.
- Integración completa con la red de procesos.
- Programación amigable
- IHM incorporada.
- Start up orientado: programación paso a paso.
- Solución para la puerta del armario eléctrico o consola de la máquina.

## SoftPLC

Añadiendo las funcionalidades de un PLC al CFW100, permite la creación de aplicaciones. El software WLP y la funcionalidad SoftPLC son una forma inteligente y simple de hacer que su CFW100, su motor y su aplicación trabajen juntos. Para conectar la computadora en el CFW100 es obligatorio el uso del plug-in.

Figura 30: Interfaz SoftPLC

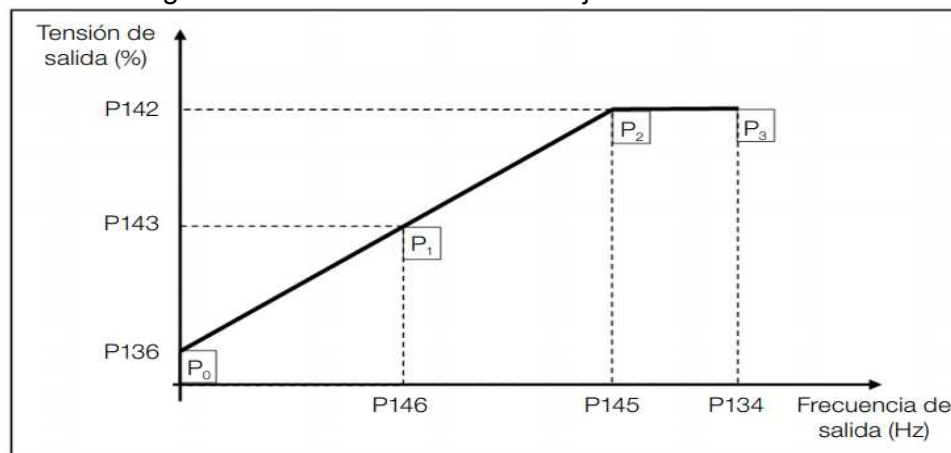


Fuente: [14]

### 3.2.2.1. Control escalar v/f

Se trata del control clásico para motor de inducción trifásico, basado en una curva que relaciona la frecuencia y la tensión de salida. El convertidor funciona como una fuente de tensión y frecuencia variable generando valores de frecuencia y tensión de acuerdo con esta curva:

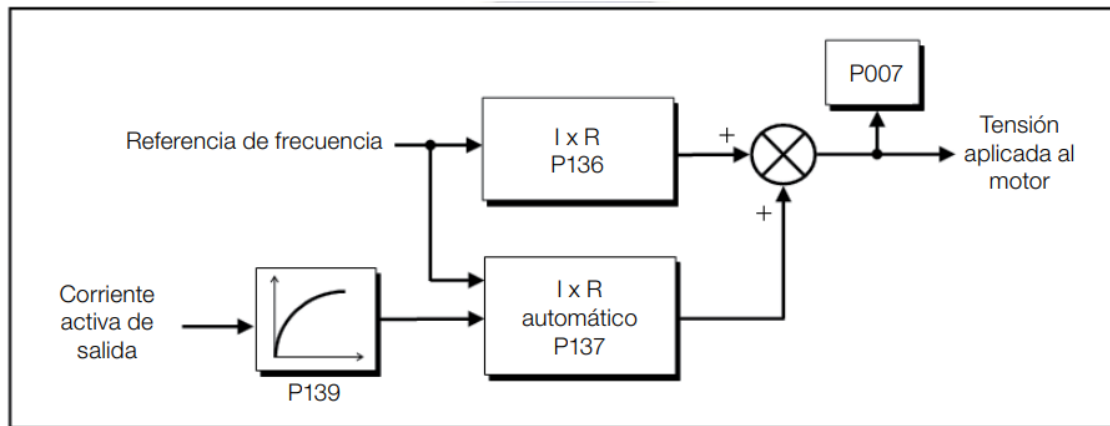
Figura 31: Curva de relación Voltaje - Frecuencia



Fuente: [14]

La curva V/f es totalmente ajustable en cuatro puntos distintos conforme muestra la figura, aunque el patrón de fábrica defina una curva preajustada para motores 50 Hz ó 60 Hz, conforme opciones de P204. En este formato, el punto P0 define la amplitud aplicada en 0 Hz, ya P2 define la amplitud y la frecuencia nominal y el inicio del debilitamiento de campo. Ya el punto intermedio P1 permite el ajuste de la curva para una relación no lineal del torque con la frecuencia.

Figura 32: Diagrama de bloques control escalar VF



Fuente: [14]

El diagrama de bloques de la anterior figura muestra la acción de la compensación IxR automática responsable por el incremento de la tensión en la salida de la rampa de acuerdo con el aumento de la corriente activa.

### 3.2.3. Interfaz proceso – operario HMI KINCO

Se escogió la pantalla HMI de KINCO debido al software de programación gratuito que tiene (kinco HMIware) el cual tiene una amigable interfaz para la construcción de las pantallas de visualización del proceso y su compatibilidad con dispositivos de otras fábricas.

Un sistema HMI es una interfaz de usuario o panel de control que conecta a una persona con una máquina, sistema o dispositivo. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real, proporcionando gráficas de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso. Suministran información operativa al proceso, y permiten el control y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso.

El HMI ET070 es una pantalla LCD de 7 pulgadas con una resolución en imagen de 16:9 de alto rendimiento con CPU de 400 MHz de alta velocidad de procesamiento de datos, velocidad de transmisión y velocidad de conmutación más eficiente, adicionalmente cuenta con retroalimentación LED para así poder ajustarse el brillo manualmente. [15]

Tabla 1: Características HMI Kinco

<b>Tamaño de LCD:</b>	7" TFT
<b>Resolución:</b>	800*480 píxeles
<b>Color de la pantalla:</b>	65536 color
<b>Brillo:</b>	250 CD/M2
<b>Pantalla táctil:</b>	Red de resistencia de precisión de 4 hilos (dureza de superficie 4 H)
<b>CPU:</b>	RISC 400 MHz
<b>Memoria:</b>	128 M FLASH + 64 M SDRAM
<b>Potencia nominal:</b>	7,2 W
<b>Voltaje de alimentación:</b>	24 VDC
<b>Rango de voltaje:</b>	12 a 28 VDC
<b>Resistencia de aislamiento:</b>	50 MΩ 500VDC
<b>Prueba de presión:</b>	500 V CA
<b>Temperatura de funcionamiento:</b>	0°C a 45°C

Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Dimensiones HMI kinco



Fuente: [15]

#### 3.2.4. Relé de interface

El relé es un dispositivo electromagnético, funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

El electroimán hace girar la armadura verticalmente al ser alimentada, cerrando los contactos dependiendo de si es N.O o N.C (normalmente abierto o normalmente cerrado), si se le aplica un voltaje a la bobina se genera un campo magnético, que provoca que los contactos hagan una conexión, estos pueden ser considerados como el interruptor, permitiendo que la corriente fluya entre los dos puntos que cerraron el circuito.

El relé que se usará en este proyecto es de la familia Chint Electric, con una bobina de 24 V DC y cuatro contactos auxiliares N.O., cada uno de estos contactos es capaz de soportar una corriente máxima de operación de 3 Amperios.



Figura 34: Relé de interface 24 [V]

CHNT



JQX-10F-2Z

Fuente: [26]

Tabla 2: Características relé de interface

<b>Lugar del origen:</b>	Zhejiang, China
<b>Marca:</b>	Asiaon
<b>Número de Modelo:</b>	JQX-10F 2Z
<b>Teoría:</b>	Relé electromagnético
<b>Aplicación:</b>	Propósito General
<b>Talla:</b>	Miniatura
<b>Característica de protección:</b>	Sellado
<b>Carga de contacto:</b>	Alta potencia
<b>Formulario de contacto:</b>	2Z, 2 H, 2D 3Z. 3 H, 3D
<b>Resistencia de contacto:</b>	$\leq 100\text{m}\Omega$ ; (1A 6VDC)
<b>Material de contacto:</b>	AgCdO
<b>Capacidad de contacto:</b>	10A 250VAC/28VDC
<b>Voltaje de la bobina:</b>	DC6-110V, AC6-240V
<b>Relé de propósito General:</b>	JQX-10F
<b>Tiempo:</b>	15 días
<b>Tipo de Terminal:</b>	Montaje toma
<b>Potencia nominal de la bobina:</b>	1,6 W/2.8VA

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.5. Contactor

Un contactor es un elemento electromecánico que tiene la capacidad de establecer o interrumpir la corriente eléctrica de una carga, con la posibilidad de ser accionado a distancia mediante la utilización de elementos de comando, los cuales están compuesto por un circuito bobina / electroimán por la cual circula una menor corriente que la de carga en sí (podría utilizarse baja tensión para el comando).

Figura 35: Contactores (Siemens, Schneider, ABB, Chint )



Fuente: Elaboración propia

Constructivamente son similares a los relés, pero se diferencian por la misión que cumple cada uno: los relés controlan corrientes de bajo valor como la alimentación de contactores y los contactores se utilizan como interruptores electromagnéticos en la conexión y desconexión de circuitos de elevada tensión y potencia.

Tabla 3: Características de los contactores

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS CONTACTOS						
Contactor:	Bomba	Ciclon	Harina	Mezcladora	Sin Fin	Vacio
Marca:	Siemens	Schneider	Siemens	Chint	ABB	Chint
Tension nominal	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (25...400 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)
Corriente de servicio nominal	27 [A]	18 [A]	18 [A]	9 [A]	18 [A]	9 [A]
Voltaje de activacion bobina	220 VAC (50/60 Hz)	220 VAC (50/60 Hz)	220 VAC (50/60 Hz)	220 VAC (50/60 Hz)	220 VAC (50/60 Hz)	220 VAC (50/60 Hz)
Potencia de consumo	1,2 W a 1,8 W	1,1 W a 1,5 W	1,2 W a 1,8 W	1,8 W a 2,7 W	1,5 W a 2,2 W	1,8 W a 2,7 W
Ciclos de trabajo electrico (op/h)	1500 ciclos AC-3	1450 ciclos AC-3	1500 ciclos AC-3	1200 ciclos AC-3	1500 ciclos AC-3	1200 ciclos AC-3
Ciclos de trabajo mecanico (op/h)	4000	3600	4000	3600	3800	3600
Tamaño de cable flexible	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>
Tamaño de tornillo	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.5.1. Categoría de empleo en C.A.

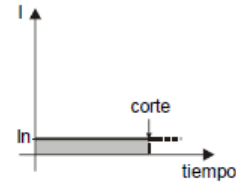
La categoría de empleo define la aplicación de los contactores en corriente alterna dependiendo de su finalidad o uso, fiado por la norma IEC 158.

Figura 36: Categorías de empleo

#### Categoría AC1

Se aplican a condiciones de servicio ligeras, cargas resistivas o poco inductivas cuyo factor de potencia es menor o igual a 0,95 ( $\cos \varphi \geq 0,95$ ).

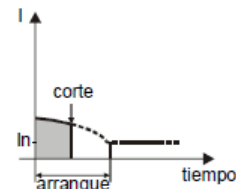
Ocasionalmente puede aplicarse en condiciones de cierre y apertura de 1,5 veces  $I_n$  o 1,1 veces  $U_n$ .



#### Categoría AC2

Se emplean en situaciones de servicio de marcha a impulsos o frenado en contracorriente de motores de anillos. En la conexión y la desconexión pueden establecerse intensidades hasta 2,5 veces de la intensidad nominal, con un factor de potencia menor o igual 0,65 ( $\cos \varphi \geq 0,65$ ).

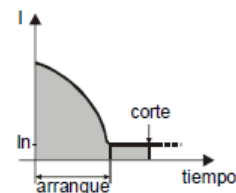
Ocasionalmente puede emplearse en condiciones de cierre y apertura de 1,5 veces  $I_n$  o 1,1 veces  $U_n$ .



#### Categoría AC3

Se destinan a motores de jaula de ardilla con intensidad de arranque en el momento de la conexión de 5 a 7 veces la intensidad nominal a  $U_n$ . La desconexión debe realizarse a la intensidad nominal del motor. El factor de potencia puede ser igual o mayor a 0,35 ( $\cos \varphi \geq 0,35$ ).

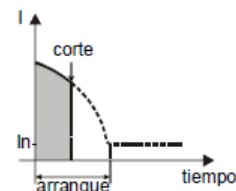
Ocasionalmente puede aplicarse en condiciones de cierre en las que  $I_n$  sea superior en 8 a 10 veces. Las condiciones de apertura ocasional se establecen de 6 a 8 veces  $I_n$ .



#### Categoría AC4

Se utilizan en condiciones de servicio extremas en las que tanto la punta de corriente en el arranque como la de corte puede llegar a ser de 5 a 7 veces  $I_n$ , en maniobras de arranque, frenado en contracorriente y marcha a impulsos de motores de jaula. El factor de potencia puede ser igual o mayor a 0,35 ( $\cos \varphi \geq 0,35$ ).

Ocasionalmente pueden emplearse en situaciones en que la intensidad de cierre sea de 10 a 12 veces  $I_n$  y la de corte con valores de 8 a 10 veces  $I_n$ .



Fuente: [22]

### 3.2.6. Relé térmico

Un relé térmico es un dispositivo de protección que funciona contra las sobrecargas y calentamientos, por lo que se utiliza principalmente en motores, con lo que se garantiza alargar su vida útil y la continuidad en el trabajo de máquinas, evitando paradas de producción y garantizando volver a arrancar de forma rápida y con seguridad.

Los relés térmicos son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas, se pueden utilizar en corriente alterna o continua. Este dispositivo de protección garantiza:

- ✓ Optimizar la durabilidad de los motores, impidiendo que funcionen en condiciones de calentamiento anómalas.
- ✓ La continuidad de explotación de las máquinas o las instalaciones evitando paradas imprevistas.
- ✓ Volver a arrancar después de un disparo con la mayor rapidez y las mejores condiciones de seguridad posibles para los equipos y las personas.

Figura 37: Relé térmico (Schneider, Siemens, ABB, Chint)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Características de los relés térmicos

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS RELES TERMICOS					
Relé termico:	Bomba	Ciclón	Harina	Mezcladora	Sin Fin
Marca:	Siemens	Schneider	Siemens	Chint	ABB
Tension nominal	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (25...400 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)	690 [V] (50/60 Hz)
Ajuste de corriente	11 - 16 [A]	8,5 - 12,5 [A]	12 - 17,5 [A]	2,5 - 4 [A]	10 - 14 [A]
Corriente conf. de apertura	15 [A]	8,5 [A]	13 [A]	3 [A]	13 [A]
Corriente nominal cont. Aux.	3,4 [A] - 220 VAC	3,2 [A] - 220 VAC	3,4 [A] - 220 VAC	2,73 [A] - 220 VAC	3,1 [A] - 220 VAC
	2,7 [A] - 380 VAC	2,5 [A] - 380 VAC	2,7 [A] - 380 VAC	1,58 [A] - 380 VAC	2,2 [A] - 380 VAC
Numero de contactos	NO + NC	NO + NC	NO + NC	NO + NC	NO + NC
Conexión circuito principal	Tornillo M4	Tornillo M4	Tornillo M4	Tornillo M4	Tornillo M4
Tipo de cable	Tigido o flexible	Tigido o flexible	Tigido o flexible	Tigido o flexible	Tigido o flexible
Norma	UNE-EN 60947-4-1	UNE-EN 60947-4-1	UNE-EN 60947-4-1	UNE-EN 60947-4-1	UNE-EN 60947-4-1

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7. Breaker de caja moldeada CHINT NM1

Un breaker (interruptor de circuito) tiene como función principal proveer protección a equipos eléctricos y cableado, basado en la protección termomagnética, la cual se basa en el siguiente principio de operación:

- **La protección térmica interrumpe las sobrecorrientes leves (sobrecarga).** Los breakers tienen un mecanismo interno cuidadosamente diseñado, el cual se expande al calentarse con la corriente, y está calibrado para interrumpir el circuito al exceder la corriente nominal del breaker. La protección térmica no tiene una respuesta instantánea, y se ha diseñado así para permitir sobrecorrientes de corta duración, las cuales son normales en la operación de ciertos aparatos eléctricos. Por ejemplo, los motores eléctricos pueden consumir de 5 a 8 veces su corriente nominal en el arranque, durante unos breves instantes.
- **La protección magnética interrumpe las corrientes de falla (cortocircuito, falla entre líneas, falla línea-tierra), de magnitud mucho mayor a las sobrecargas.** Tal como lo indica su nombre, la protección magnética se basa en la inducción - una bobina dentro del breaker produce un potente campo magnético al haber una corriente de falla, y la fuerza magnética interrumpe un contacto eléctrico. Debido a que las fallas representan una situación de alto riesgo y nunca son parte de la operación normal, se deben desconectar al instante.

Los breakers de caja moldeada operan con protección termomagnética, además ofrecen algunas características adicionales:

- Cuentan con parámetros de disparo ajustables, por lo que son muy útiles cuando la protección debe afinarse según el equipo conectado.
- Deben acomodar un mecanismo de protección ajustable en su interior, y en muchos casos contactos mayores para aplicaciones de corriente elevada.

Figura 38: Breaker de potencia



Fuente: [26]

Tabla 5: Características Breaker de potencia

<b>Serie:</b>	NM1
<b>Corriente nominal:</b>	50 [A]
<b>No. de polos:</b>	3
<b>Capacidad de Ruptura:</b>	10 * corriente nominal
<b>Tensión de aislamiento Ui:</b>	800 [V]
<b>Tensión nominal de impulso soportado Uimp:</b>	8 [KV]
<b>Voltaje:</b>	380/400/415/690V
<b>Curva de Disparo:</b>	Tipo H
<b>Estándar:</b>	IEC-60947-2 ; EC60947-2
<b>Montaje:</b>	Vertical y Horizontal

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.8. Interruptor termomagnético

Los interruptores termomagnéticos son usados, en primer término, para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos a los cables y conductores eléctricos, ya que corta el paso de la corriente cuando la misma sobrepasa un valor máximo, de esa manera asumen la protección de medios eléctricos contra calentamientos excesivos según la norma DIN VDE 0100 parte 430.

Bajo determinadas condiciones los interruptores termo magnéticos, también garantizan la protección contra descargas peligrosas por tensiones excesivas de contacto originadas por defectos de aislamiento según la norma DIN VDE 0100 parte 410.

En el proceso de pastas alimenticias se cuenta con dos térmicos, uno para proteger el circuito de control y el otro para proteger el variador de frecuencia.

Figura 39: Interruptor termomagnético



Fuente: [26]

El funcionamiento de un interruptor termomagnético se basa en los efectos magnéticos y térmicos que produce la electricidad. Por lo tanto, este dispositivo consta de dos partes: un electroimán y una lámina bimetálica.

Al circular la corriente por el electroimán, se crea una fuerza que produce un efecto mecánico que tiende a abrir el circuito cuando la intensidad de la corriente sobrepasa ciertos valores, poniendo de esta forma una barrera de protección contra cortocircuitos.

Tabla 6: Características interruptor termomagnético

<b>Voltaje nominal:</b>	400 [V]
<b>Frecuencia de operación:</b>	50/60 Hz
<b>Corriente nominal</b>	10/6 [A]
<b>Corriente de corto circuito:</b>	50 [A]
<b>Polos:</b>	2
<b>Indicador de la posición del contacto:</b>	Si
<b>Par de apriete de los pernos:</b>	3,0 Nm
<b>Estándar del producto:</b>	IEC/EN 60898-1

Fuente: Elaboración propia



### 3.2.9. Unidades de control

Dentro de las unidades de control se encuentran diversos componentes tales como pulsadores, selectores, pulsador de parada de emergencia, entre otros; los cuales por sus características y forma de aplicación son de mucha utilidad para la automatización de procesos.

Figura 40: Botoneras, parada de emergencia y selector



Fuente: Elaboración propia

Los pulsadores son componentes con dos terminales, conexión de rosca, caja de plástico y montaje empotrado, usados para señales de entrada en los tableros de control, que cuentan con la posibilidad de cambiar fácilmente los contactos en las configuraciones NC y NO.

Las paradas de emergencia disponen de un mango de protección que permite enganchar el pulsador cuando está presionado, lo que impide soltarse fácilmente, pueden restaurarse por giro en el sentido contrario a las agujas del reloj.

La función de parada de emergencia puede utilizarse en general como medida de seguridad complementaria a las funciones de protección directas, como los interruptores de seguridad instalados en puertas de protección que neutralizan las situaciones de peligro sin necesidad de que la persona actué.

El selector de estados dispone de dos contactos NO y tiene la función de abrir o cerrar contactos de acuerdo a una posición seleccionada de manera manual.



Tabla 7: Características unidades de control

<b>Voltaje nominal:</b>	250VAC
<b>Corriente nominal:</b>	3 [A]
<b>Montaje en panel:</b>	22 mm / 0,87 plg
<b>Material:</b>	Plástico y/o metálico
<b>Colores pulsadores</b>	Verde y rojo
<b>Colores parada de emergencia</b>	Rojo
<b>Colores de selector de estados</b>	Negro

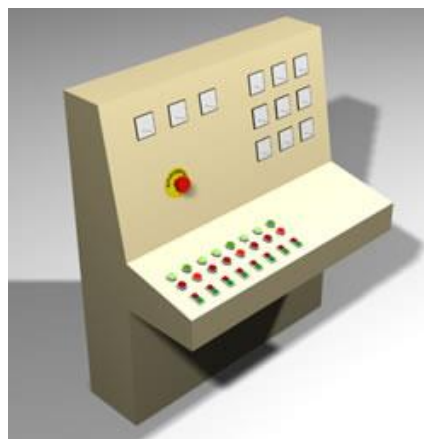
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.10. Gabinete eléctrico

La envolvente utilizada para alojar y fijar los diferentes elementos constitutivos de un circuito eléctrico recibe el nombre de cuadro, tableros o gabinete eléctrico.

Los tableros eléctricos son los que concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente. Para su construcción dentro del proceso de elaboración de pastas alimenticias se eligió el tipo pupitre, por ser el más adecuado para operar la maquinaria.

Figura 41: Gabinete eléctrico tipo pupitre



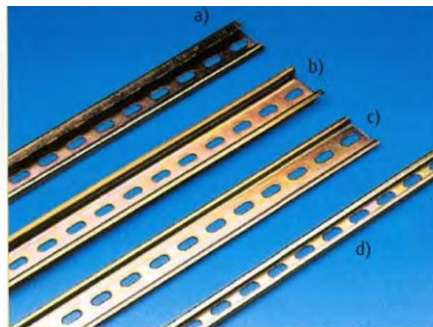
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.11. Carriles de fijación

Una alternativa, y en ocasiones complemento, al uso de la plancha de montaje lo constituye el carril de fijación. Se trata en un perfil de acero calibrado que se sujeta mediante tornillos al bastidor del cuadro eléctrico. Sirve para el soporte y fijación de dispositivos eléctricos, tales como: interruptores, magneto térmico, diferenciales, portafusibles, instrumentos de control, regletas de conexión, etc.

Uno de los carriles más utilizado es el denominado carril DIN. Es una pletina que, mediante dos aletas laterales dispuestas a lo largo, permite asegurar fácilmente el anclaje de los elementos al ejercer una pequeña presión sobre la pestaña que éstos incorporan.

Figura 42: Carriles de fijación



Fuente: [4]

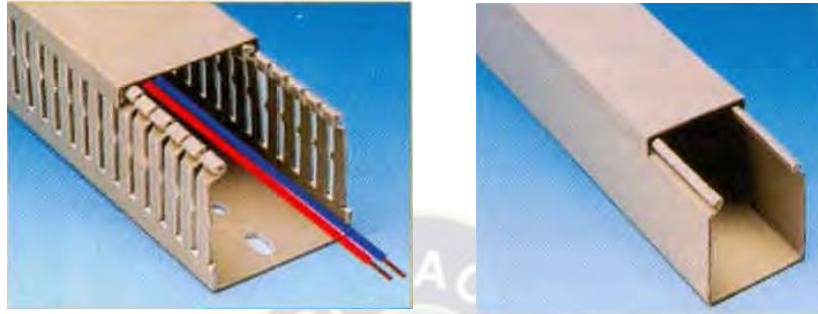
### 3.2.12. Canaletas

La conducción y ramificación del cableado interno de un cuadro eléctrico la podemos realizar ayudándonos de la denominada canaleta. Se trata de una moldura alargada cuadrangular, ranurada o lisa, formada por una base y una tapa, la base se asegura al bastidor del cuadro o a los carriles de fijación mediante clips estriados, remaches o tornillos, la tapa cierra fácilmente una vez dispuestos los conductores eléctricos que discurren sobre la base.

Colocaremos canaleta ranurada cuando a lo largo del cableado debamos realizar ramificaciones o derivaciones que modifiquen el número de conductores que discurren por el

interior de la canaleta. Por el contrario, instalaremos la canaleta lisa cuando debamos salvar distancias de cableado en las que no se produzcan entradas o salidas de conductores al canal.

Figura 43: Ductos de cable para gabinete eléctrico



Fuente: [4]

### 3.2.13. Terminales de conexión

Los terminales de conexión se grapan a los extremos de los conductores para evitar el deshilachado de sus hilos y facilitar su embornado. Existe una gran variedad de tipos, tamaños y formas de terminales en función de las características mecánicas de la conexión.

Figura 44: Terminales de conexión



Fuente: [4]

## 3.3. Especificaciones del proyecto fuera del tablero eléctrico

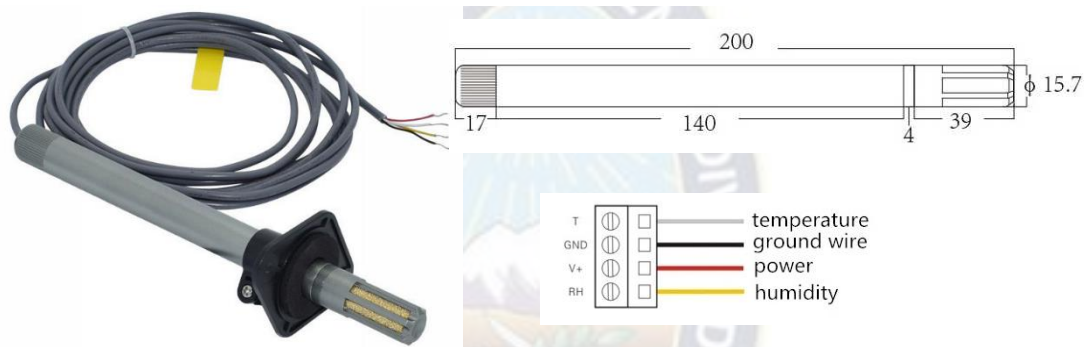
### 3.3.1. Sensor de temperatura FG6010

Se determinó que este sensor de temperatura sería el ideal para el proceso de elaboración de pastas alimenticias en la etapa de dosificado de líquido, entre sus mayores ventajas este sensor no necesita de transductores para convertir los valores resistivos en valores de voltaje,

ya que cuenta con circuitos integrados internos y por lo cual este sensor nos devuelve las mediciones de la temperatura en señales analógicas de tensión.

- ✓ Este tipo de sensor es estable y fiable de procesamiento de la señal de la temperatura ambiente y humedad, convirtiéndose en señales estándar.
- ✓ Este transmisor tiene una excelente repetibilidad, adopta una nueva carcasa de aleación de aluminio de metal, tiene las características de resistencia a altas temperaturas y al polvo, y se puede conectar a la pantalla de PLC.

Figura 45: Sensor de temperatura FG6010



Fuente: [25]

Tabla 8: Características FG6010

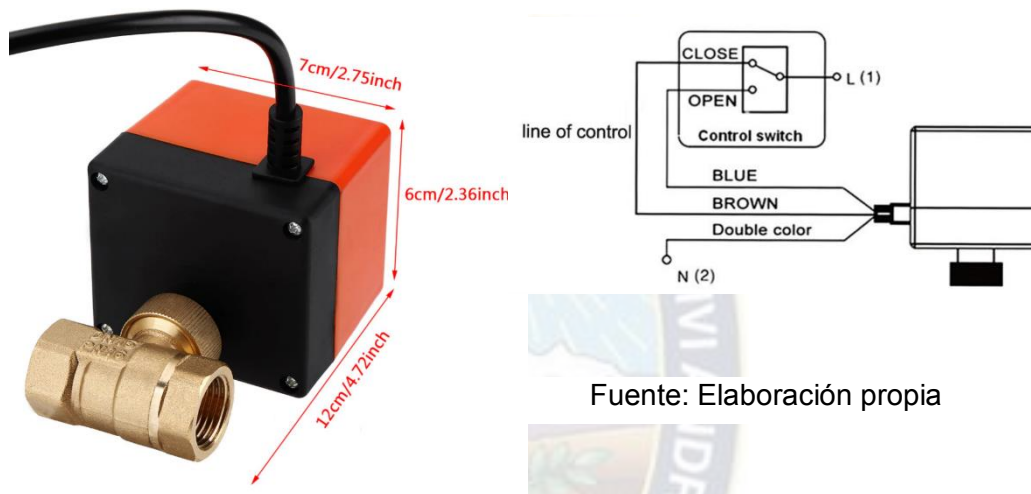
Product Name	FG6010 Temperature Humidity Sensor
Power Supply	12-24VDC
Humidity Range	0-99.9%RH
Temperature Range	-0~50°C/-20~80°C/-40~60°C
Humidity Accuracy	±3%RH
Temperature Accuracy	±0.3°C
Temperature Resolution	0.1°C 0.1%RH
Material	Metal
Weight	233.2g

Fuente: [25]

### 3.3.2. Válvula de bola motorizada

Esta válvula de bola eléctrica está hecha de latón de calidad y duradero para uso diario, tiene 2 vías de 3 cables que se pueden girar 90 grados y es ideal para la etapa de dosificación a la tolva de la etapa de mezclado, ya que al suministrar líquido a la etapa del mezclado la válvula no necesita presión para poder abrirse, cayendo el líquido libremente al tanque.

Figura 46: Válvula de bola motorizada



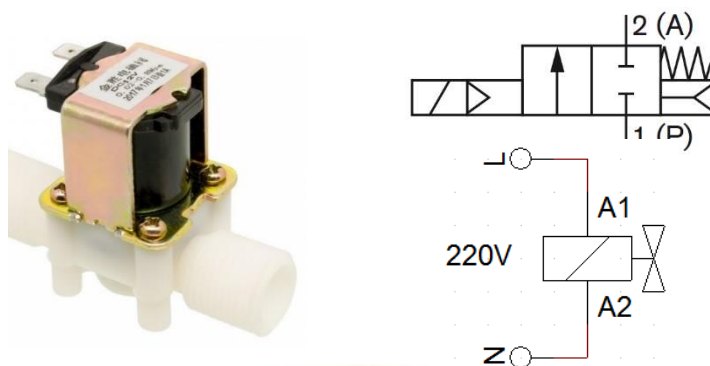
Fuente: Elaboración propia

Esta válvula se alimenta con un voltaje de 220 VAC y cuenta con tres cables (azul, café, verde/amarillo), para lo cual si alimentamos los cables azul y verde/amarillo la válvula se abrirá, si alimentamos los cables café y verde/amarillo la válvula se cerrará. Es así como funciona estas válvulas motorizadas y tienen un tiempo de apertura y cerradura menor igual a 15 segundos.

### 3.3.3. Electroválvula

La válvula electromecánica está diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería, esta se mueve mediante una bobina solenoide, generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Este dispositivo permitirá el llenado de agua en la etapa de dosificación de líquido, el cual será purificado por un filtro.

Figura 47: Electroválvula



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Características electroválvula

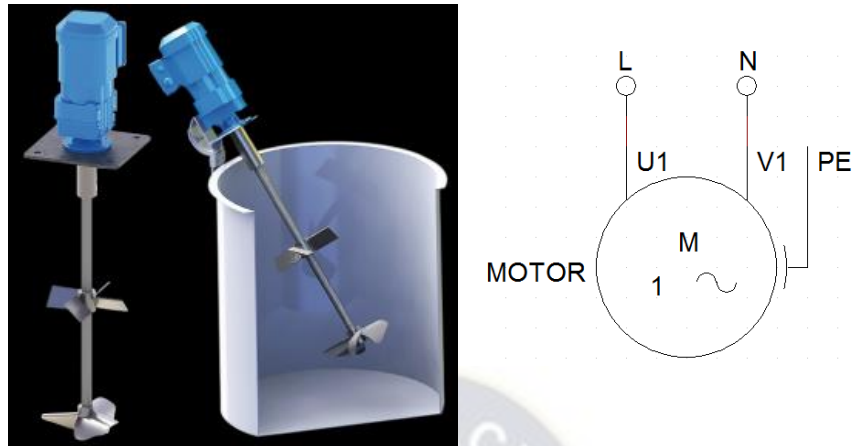
<b>Voltaje de operación:</b>	230 VAC / 50-60 Hz
<b>Consumo de potencia:</b>	4 W
<b>Temperatura ambiente:</b>	55 °C máximo
<b>Rango de presión:</b>	0,5 bar a 10 bar
<b>Medios:</b>	agua, aceite, aire comprimido
<b>Orificio:</b>	1/2 plg
<b>Tiempo de respuesta:</b>	400 ms

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4. Agitador de líquido para tanque

Los Agitadores Industriales son equipos utilizados en depósitos o tanques de proceso para líquidos y en los que se requiere de un movimiento rotatorio dentro del recipiente para la implementación de diversos procesos físicos. Este equipo se compone de un motor eléctrico, un eje, cierre mecánico y hélices, que es utilizado en la etapa de dosificación de líquido para mezclar la solución obtenida de los ingredientes procesados para la elaboración de pastas alimenticias.

Figura 48: Agitador y tanque etapa de dosificado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Características motor agitador

<b>Alimentación:</b>	220 VAC (50/60 Hz)
<b>Potencia:</b>	300 W
<b>Consumo de corriente:</b>	1,5 [A]
<b>Fases:</b>	Monofásico (1)
<b>Peso:</b>	2,5 kg

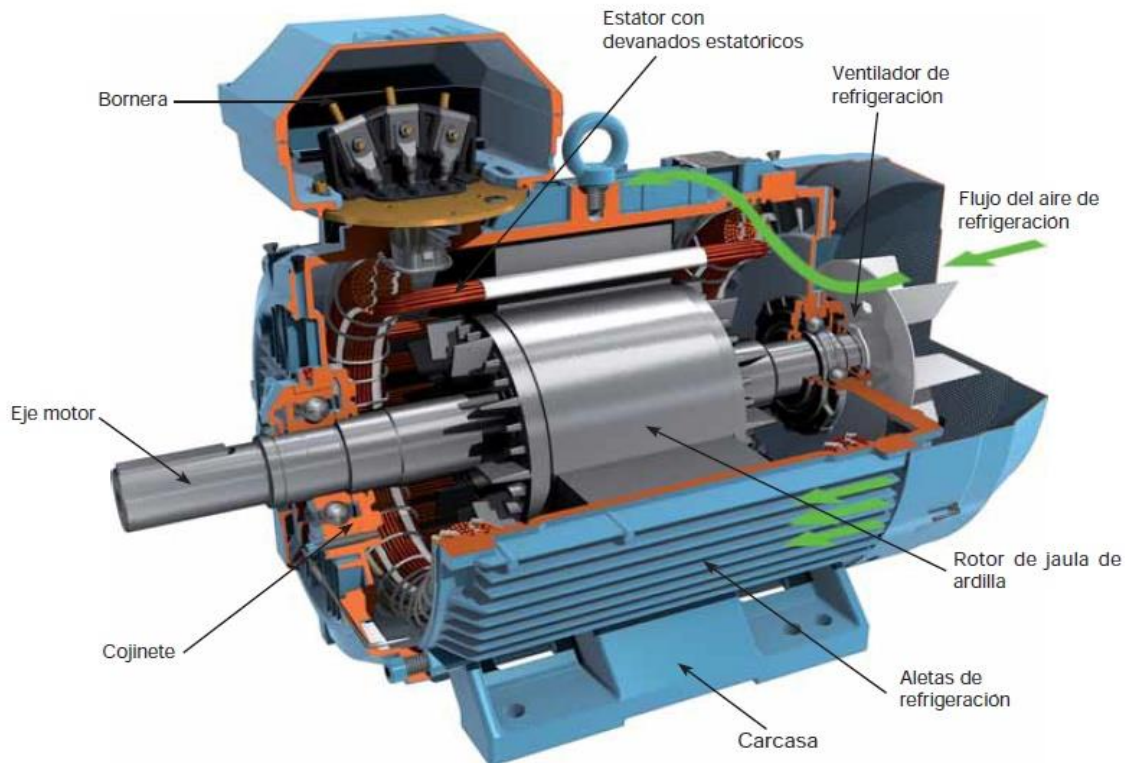
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5. Motor eléctrico trifásico asíncrono

El control de las etapas de producción se realiza mediante siete motores trifásicos asíncronos, que intervienen en cada proceso. Cada uno de estos motores asíncronos ha sido incluido entre las máquinas eléctricas que han sido dimensionadas correctamente para el proceso, estos son del tipo jaula de ardilla constituidos con barras cerradas por cortocircuito para una mayor simplicidad constructiva, la cual lo vuelve en un motor simple, robusto y económico.



Figura 49: Motor de jaula de ardilla Trifásico WEG



Fuente: [24]

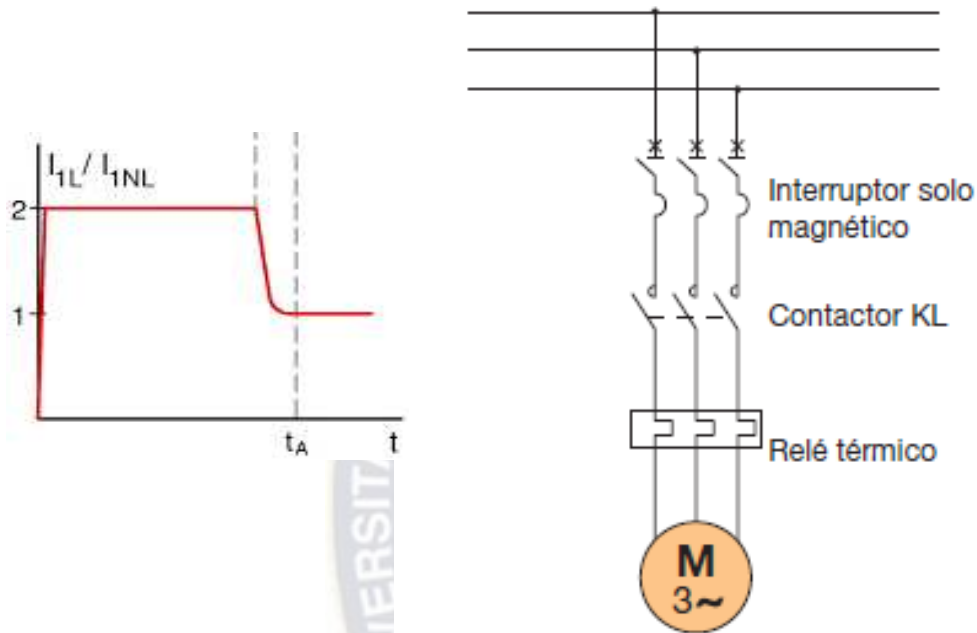
En los motores de la bomba, ciclón, harina, mezcladora, sin fin y vacío se utilizará arrancadores directos, los cuales aplican la tensión de línea a los terminales del motor en una sola operación, están destinados a arrancar y acelerar hasta su velocidad de régimen permanente. Esto puede realizarse mediante diversas soluciones de instalación que se diferencian por el modo en que se les aplica la tensión a los devanados del estátor y por el valor de los parámetros eléctricos y mecánicos que producen.

El arranque directo representa el sistema más simple y económico para arrancar el motor asíncrono de jaula y es tradicionalmente el más utilizado, presentando plena tensión y una frecuencia constante, el cual desarrolla un par de arranque elevado con tiempos de aceleración de media muy reducidos.



La corriente de arranque del motor con el sistema descrito anteriormente oscila de 3 a 7 veces la intensidad nominal hasta alcanzar la velocidad de par máxima, ya que el par y arranque es siempre superior al par nominal y permite el arranque rápido de una maquina a plena carga.

Figura 50: Arranque directo motor trifásico

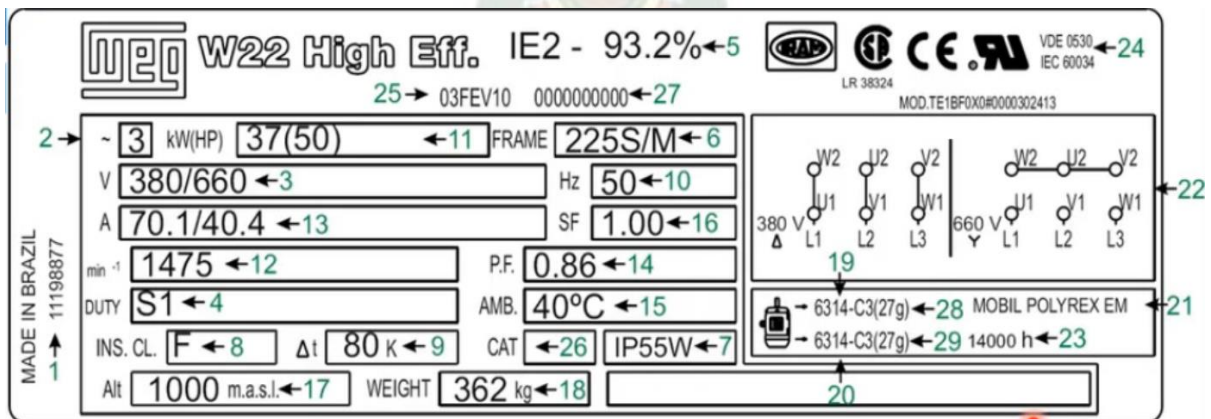


Fuente: [24]

### Placa de identificación

En la parte superior del motor podemos encontrar una placa, la cual nos indica características muy importantes.

Figura 51: Datos técnicos motor trifásico



Fuente: [24]

Tabla 11: Datos técnicos motor trifásico

1	Código del motor
2	Número de fases
3	Tensión nominal de operación
4	Régimen de servicio
5	Eficiencia
6	Tamaño de carcasa
7	Grado protección
8	Clase de aislamiento
9	Sobreelevación de temperatura
10	Frecuencia
11	Potencia nominal del motor
12	Velocidad nominal del motor
13	Corriente nominal de operación
14	Factor de potencia
15	Temperatura ambiente máxima
16	Factor de servicio
17	Altitud ambiente máxima
18	Peso del motor
19	Tipo de rodamiento delantero
20	Tipo de rodamiento trasero
21	Tipo de lubricante
22	Tipo de conexión
23	tiempo de mantenimiento
24	Norma de construcción
25	Fecha de fabricación
26	Categoría de trabajo
27	Numero de lote
28	tipo de lubricante delantero
29	Tipo de lubricante trasero

Fuente: Elaboración propia

El motor asíncrono es un tipo de motor eléctrico de corriente alterna en el que la frecuencia de rotación no es igual sino inferior a la frecuencia de red, es decir, no es "síncrono" con ella, de

ahí el origen de su nombre. Esta velocidad está ligada a la frecuencia de alimentación y al número de pares de polos de la relación:

$$n_s = \frac{60 * f}{p}$$

Donde:

- $n_s$  es la velocidad de sincronismo en vueltas por minuto
- $f$  es la frecuencia de la red de alimentación
- $p$  es el número de pares de polos (los pares de polos se determinan dividiendo entre dos el número de polos que presenta el motor).

Para hallar la cantidad de polos que tiene el motor solo despejamos  $p$  y sacando la velocidad y la frecuencia de la tabla 11 de identificación.

$$p = \frac{60 * f}{n_s}$$

Teniendo en cuenta la velocidad de sincronismo podemos calcular la velocidad nominal del motor con carga en el vacío, dando por resultado que la velocidad de sincronismo es igual a la velocidad nominal, puesto que el deslizamiento es cero (en teoría).

$$n = n_s * (1 - s)$$

Donde:

- $n$  es la velocidad nominal
- $n_s$  es la velocidad síncrona
- $s$  es el deslizamiento ( $s=1$  rotor bloqueado y  $s=0$  vacío teoría)

De esta manera llegamos a las siguientes características más importantes de los motores del proceso de elaboración de pastas alimenticias calculadas con las anteriores formulas:

Tabla 12: Características de los motores trifásicos del proceso

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS						
Motor:	Bomba	Ciclon	Harina	Mezcladora	Sin Fin	Cortadora
Marca:	WEG	WEG	META	WEG	META	META
Tensión en delta :	230 [V]	230 [V]	230 [V]	230 [V]	230 [V]	220 [V]
Corriente en delta:	15 [A]	9,5 [A]	11 [A]	3,5 [A]	11 [A]	0,46 [A]
Tensión en estrella:	400 [V]	400 [V]	400 [V]	400 [V]	400 [V]	380 [V]
Corriente en estrella:	8,5 [A]	5 [A]	6,5 [A]	2 [A]	6,5 [A]	0,39 [A]
Numero de polos:	2	2	2	3	2	2
Potencia:	5,5 HP	3 HP	5,5 HP	2 HP	5,5 HP	1 HP
Velocidad nominal:	1500 rpm	1200 rpm	1450 rpm	1000 rpm	1450 rpm	1350 rpm
Frecuencia:	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Especificaciones del sistema de comunicación

El proceso de elaboración de pastas alimenticias será controlado por un solo sistema (centralizado), es decir, la comunicación es realizado dentro de una misma planta, a través de cableado eléctrico. Las principales características de este sistema son:

- Es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente grande ni complejo.
- Es fácil de mantener, ya que sólo hay un único controlador.
- Al existir un único controlador, no existen problemas de compatibilidad.
- Son muy delicados a los fallos; si el controlador falla, todo se detiene.

En el ámbito industrial, dispone de una potente red de área y célula según el estándar IEEE 802.3 (Ethernet) y 802.11 (Wireless LAN). Este sistema permite crear, con Industrial Ethernet, potentes redes de comunicación de gran extensión.

Las múltiples posibilidades de Internet que ya están disponibles actualmente en el ámbito de la oficina también se pueden aprovechar en la automatización manufacturera y de procesos.

La red de comunicación es la que se encarga de la transmisión de la información entre los sistemas que llevan a cabo las tareas de control y gestión. Dentro del proceso necesitamos realizar la comunicación en los siguientes dispositivos:

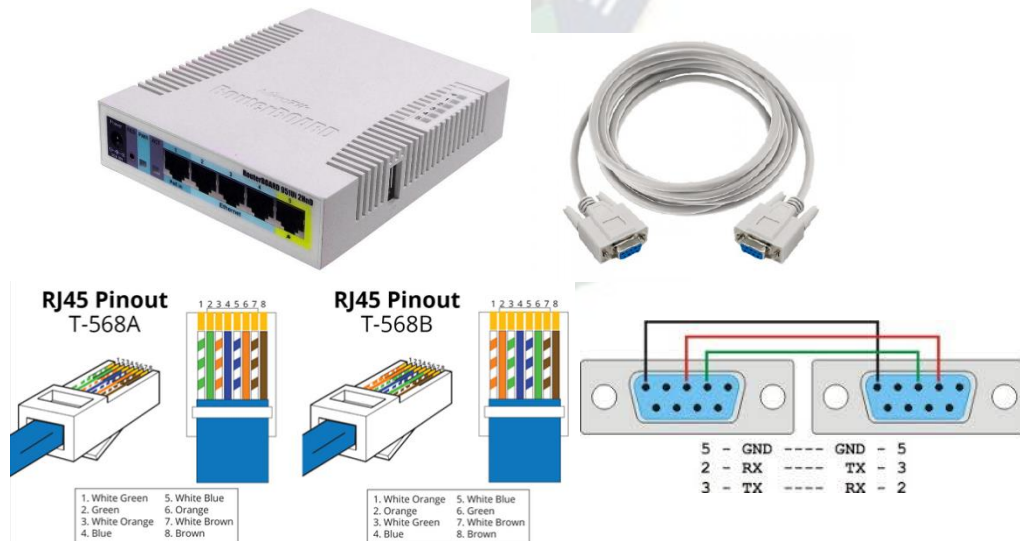
- ➔ PLC OMRON - HMI KINCO
- ➔ PLC OMRON - Sistema de supervisión
- ➔ Sistema de supervisión - Servicio remoto

En el primer caso tenemos una comunicación por puertos RS232 entre el PLC y la HMI, para el segundo caso se tiene una comunicación con cable serial USB, a fin de tener una mejor latencia en los datos del PLC al sistema de supervisión y por último se habilitará en el computador una función denominado escritorio remoto para acceder al sistema de supervisión desde otro computador.

Para estas comunicaciones es necesario los siguientes equipos:

- Router mikrotik RB950
- Cable de red RJ45
- Cable serial RS232
- Cable serial USB

Figura 52: Elementos de comunicación



Fuente: Elaboración propia

El enrutador RB951U es un dispositivo inalámbrico de nueva generación, con procesador atheros y una mayor potencia de computación, cumpliendo con todos los estándares de comunicación en la multitud de sus funciones, es un sistema capaz de ofrecer velocidad, prueba de fallos y adaptabilidad.

Tabla 13: Características del Router Mikrotik RB951U

<b>Alimentación:</b>	5 VDC
<b>Entrada de corriente continua:</b>	1 Mirco USB C
<b>Potencia:</b>	150 W
<b>Consumo máximo de energía:</b>	3,5 W
<b>Arquitectura:</b>	MIPSBE
<b>Frecuencia nominal de la CPU:</b>	650 MHz
<b>Tamaño de la RAM:</b>	32 MB
<b>Puertos Ethernet 10/100</b>	6
<b>Tipo de almacenamiento:</b>	Flash
<b>Nivel de licencia:</b>	5
<b>Sistema operativo:</b>	RouterOS
<b>Numero de cadenas inalámbricas:</b>	2
<b>Estándares inalámbricos de 2,4 GHz</b>	802.11 b/g/n
<b>Ganancia de antena DBI</b>	1,5

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1. Normas sobre las comunicaciones

Cabe destacar que con la llegada de las normas todos los fabricantes han ido adaptando sus sistemas al cumplimiento de éstas, por lo cual cada día más los equipos de diferentes fabricantes son más compatibles entre sí, aunque existen multitud de normas y estándares no

todas han nacido de una institución normalizadora como son las llamadas normas de facto [9], que son:

Tabla 14: Normas que afectan a las comunicaciones

Organismo	Norma/recomendación	Contenido
EIA	RS-232C	Norma física RS-232 de comunicación serie.
EIA/TIA	RS-422	Norma física RS-422 de comunicación serie.
EIA	RS-485	Norma física RS-485 de comunicación serie.
EIA/TIA	568	Cableado estructurado de redes de datos.
IEEE	802	Redes de área local (LAN).
IEEE	802.3	Métodos de acceso al medio en redes Ethernet.
IEEE	1284	Norma sobre las comunicaciones en paralelo.
IUIT	V,92	Normas sobre los módems de 56 kbps.
AENOR	UNE-EN 50173	Cableado de sistemas de información.
ARNOR	UNE-EN 50174	Redes de cableado estructurado.
CENELEC	EN 50170	Buses de campo industriales de propósito general.
CENELEC	EN 61131-5	Comunicaciones en los autómatas programables.
CENELEC	EN 61158-2	Vía de datos en los sistemas de control industriales
IEC	IEC 61158	Buses de campo industriales.

Fuente: [9]

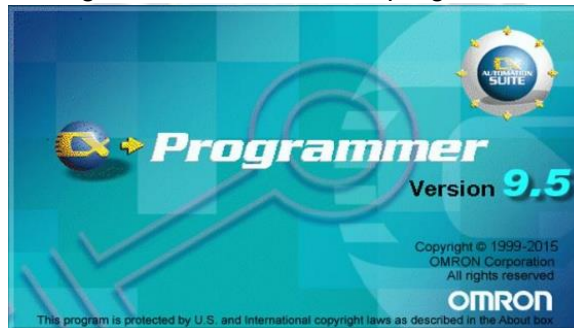
## 3.5. Programas utilizados

### 3.5.1. CX-Programmer

CX-Programmer es el software de programación para todas las series de PLC de Omron, está totalmente integrado en el conjunto de programas CX-One. Los nuevos cuadros de dialogo de ajuste de parámetros reducen el tiempo de configuración y, con los bloques de configuración estándar en texto estructurado IEC 61131-317 o lenguaje de diagrama de relés convencional, CX-Programmer convierte el desarrollo de programas para PLC en una simple configuración mediante arrastrar y colocar.

El software puede ser descargado del sitio web de Omron introduciendo previamente el código del PLC adquirido.

Figura 53: Software CX - programmer



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. CX-Supervisor

CX-Supervisor es el software de supervisión para sistemas SCADA propio de la industria Omron. Es suficientemente flexible para trabajar sobre un solo PLC o sobre un sistema entero de producción. La programación se realiza en un entorno Windows de forma intuitiva mediante scripts y ventanas. Este software está dedicado al desarrollo de interfaces hombre – máquina para todos los procesos relacionados con el control de máquinas y PC. Es importante para desarrollar tareas de vigilancia y control; además, enriquece el diseño de las aplicaciones más sofisticadas, proporciona la funcionalidad y flexibilidad necesaria para crear y ejecutar aplicaciones – interfaces gráficas.



CX-Supervisor cuenta con potentes funciones destinadas a una amplia gama de requisitos de terminales programables basados en PC. La creación de aplicaciones es una tarea sencilla con la ayuda de un gran número de funciones y bibliotecas predefinidas. Lo mismo puede decirse de las aplicaciones más complejas, ya que es posible generarlas con un potente lenguaje de programación propio del software o VBScript.

El software puede ser descargado del sitio web de Omron introduciendo previamente el código del PLC adquirido.

Figura 54: Software CX - Supervisor



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3. Kinco HMIware

El HMIware es el entorno de programación de las pantallas táctil kinco, el cual es simple de configurar y programar, ya que se proporciona un entorno de programación para Windows donde es posible diseñar gráficos y textos para mostrar en la pantalla, así también como añadir objetos gráficos tales como botones, entradas numéricas, indicadores, barras analógicas, menús, etc., para controlar el PLC.

Figura 55: Software HMIware Kinco



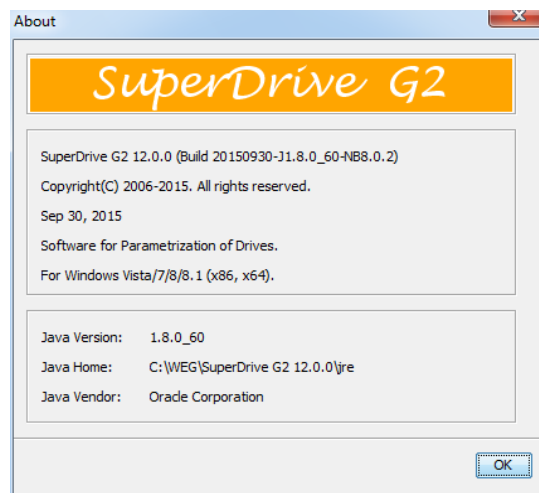
Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.4. Superdrive G2

Es una herramienta gráfica en el ambiente Windows para la parametrización, comando y monitoreo de Drives. SuperDrive G2 es una herramienta para las Computadoras/Notebooks con el propósito de facilitar el uso de los Drives y tornarlo tan conveniente cuanto posible.

Este Software suministra herramientas con interface amigable para visualizar, manipular y modificar datos del Drive. Estos datos pueden ser recuperados, modificados y almacenados.

Figura 56: Software SuperDrive G2

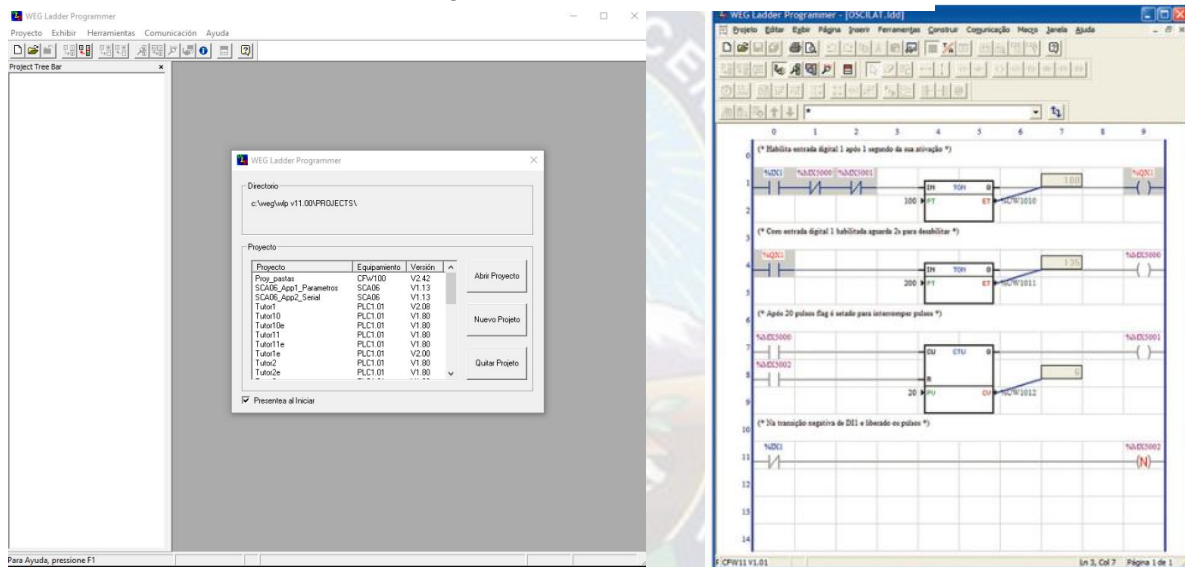


Fuente: Elaboración propia

### 3.5.5. WLP

El WLP "WEG Ladder Programmer" es un software para ambiente Windows que permite la programación en lenguaje Ladder (IEC 61131-3), el comando y monitorización de equipos en tiempo real. Con este programa podemos configurar los variadores de frecuencia WEG configurando sus parámetros con la opción softPLC y haciendo uso de entradas y salidas digitales mediante este programa.

Figura 57: Software WLP



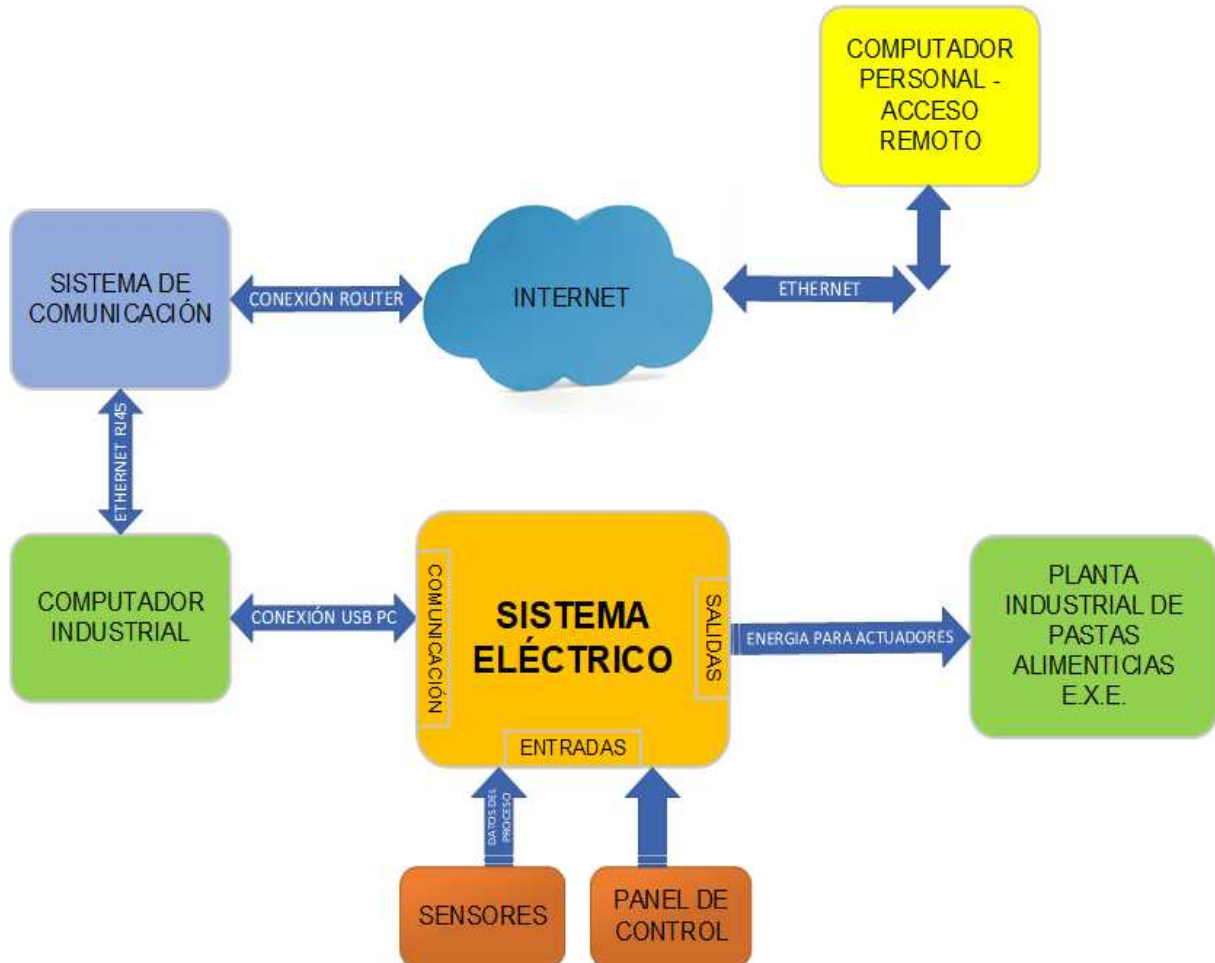
Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV: INGENIERIA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño de ingeniería

En este punto se mostrará toda la configuración del proyecto, el cual se dividirá en varias partes, desde el diseño de ingeniería en hardware hasta el diseño de ingeniería en software del sistema de supervisión.

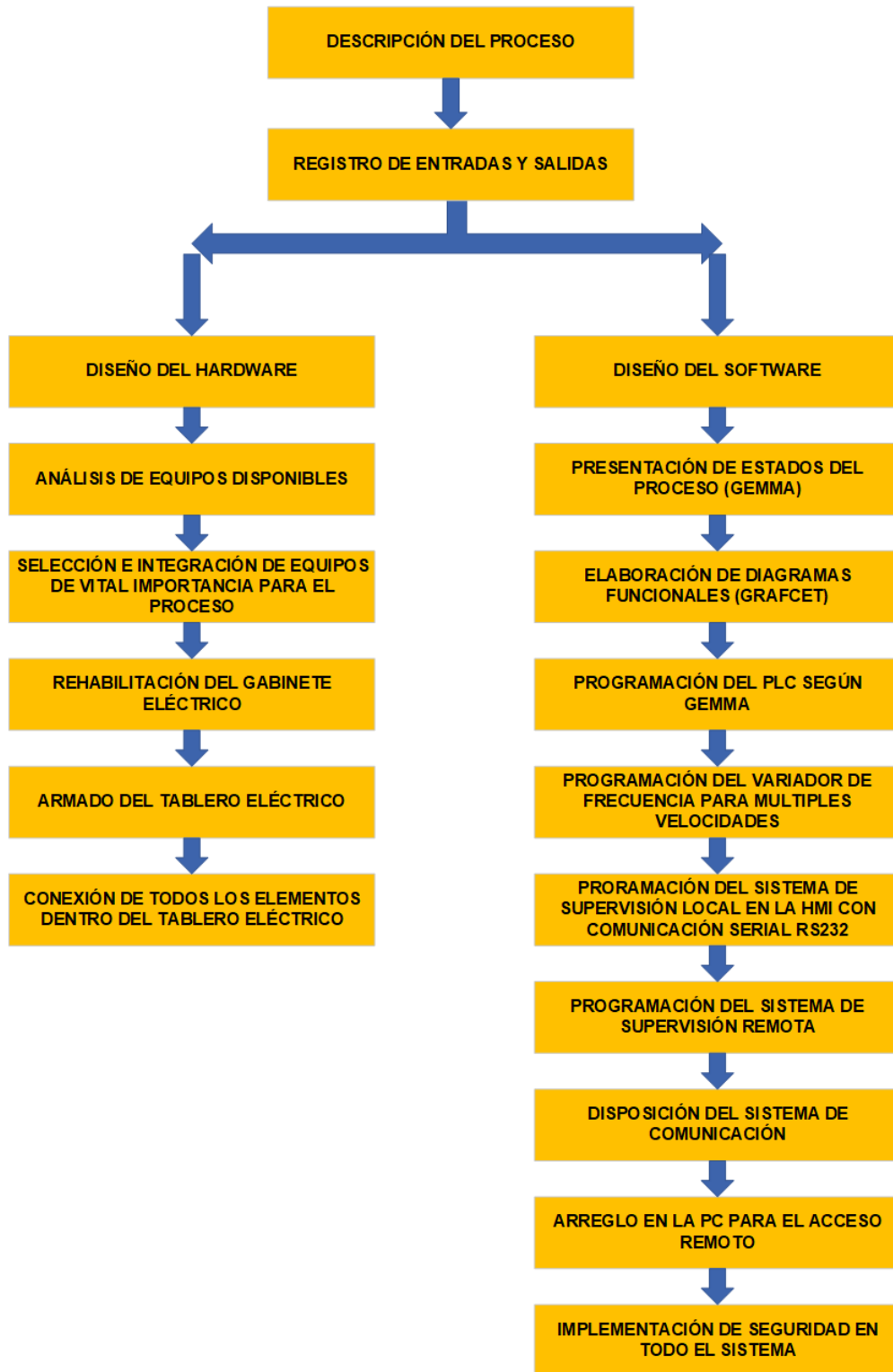
Figura 58: Diagrama general del sistema



Fuente: Elaboración propia

La función del sistema será supervisar el proceso de elaboración de pastas alimenticias que permita la ejecución del programa de manera remota y local. En el sistema se podrá visualizar y almacenar información valiosa para el operador de planta, donde podrá interactuar con las máquinas del proceso.

Figura 59: Diagrama de flujo del diseño



Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Entradas y salidas físicas del sistema de control

Antes de realizar la configuración y programación del sistema de control se asignará los espacios de memoria del PLC OMRON CP1L – MDR para cada entrada y salida física del proceso de elaboración de pastas alimenticias.

El PLC descrito en las especificaciones del proyecto cuenta con 24 entradas digitales, 16 salidas digitales, 2 entradas analógicas, puerto serial RS232 y un puerto USB tipo B, todas estas características están integradas dentro de la misma. Se usarán 22 entradas digitales, 14 salidas digitales y una entrada analógica, para el sistema de supervisión, cuya asignación del espacio en memoria son los siguientes:

Tabla 15: Dirección de memoria de entradas del PLC

Entradas	Dirección PLC	Tipo de dato
Marcha de proceso	0.00	Booleano
Parada fin de proceso	0.01	Booleano
Parada de emergencia	0.02	Booleano
Funcionamiento manual	0.03	Booleano
Funcionamiento automático	0.04	Booleano
Motor Bomba	0.05	Booleano
Motor Ciclón	0.06	Booleano
Motor Harina	0.07	Booleano
Motor Mezcladora	0.08	Booleano
Alimentación de tanque ON	0.09	Booleano
Alimentación de tanque OFF	0.10	Booleano
Dosificación de líquido ON	0.11	Booleano
Dosificación de líquido OFF	1.00	Booleano
Agitador de líquido ON	1.01	Booleano
Agitador de líquido OFF	1.02	Booleano
Motor Sin fin	1.03	Booleano
Motor Vacío	1.04	Booleano
Cuchilla velocidad baja	1.05	Booleano
Cuchilla velocidad media	1.06	Booleano
Cuchilla velocidad alta	1.07	Booleano
Cuchilla OFF	1.08	Booleano
Sensor de nivel alto	1.09	Booleano
Temperatura	A642	Float

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Dirección de memoria de salidas del PLC

Salidas	Dirección PLC	Tipo de dato
Señalizador rojo	100.00	Booleano
Válvula de apertura ON	100.02	Booleano
Válvula de apertura OFF	100.03	Booleano
Motor Bomba	100.04	Booleano
Motor Ciclón	100.05	Booleano
Motor Harina	100.06	Booleano
Motor Mezcladora	100.07	Booleano
Motor Sin fin	101.00	Booleano
Motor Vacío	101.01	Booleano
Agitador de liquido	101.02	Booleano
Electroválvula	101.03	Booleano
Cuchilla velocidad baja	101.04	Booleano
Cuchilla velocidad media	101.05	Booleano
Cuchilla velocidad alta	101.06	Booleano

Fuente: Elaboración propia

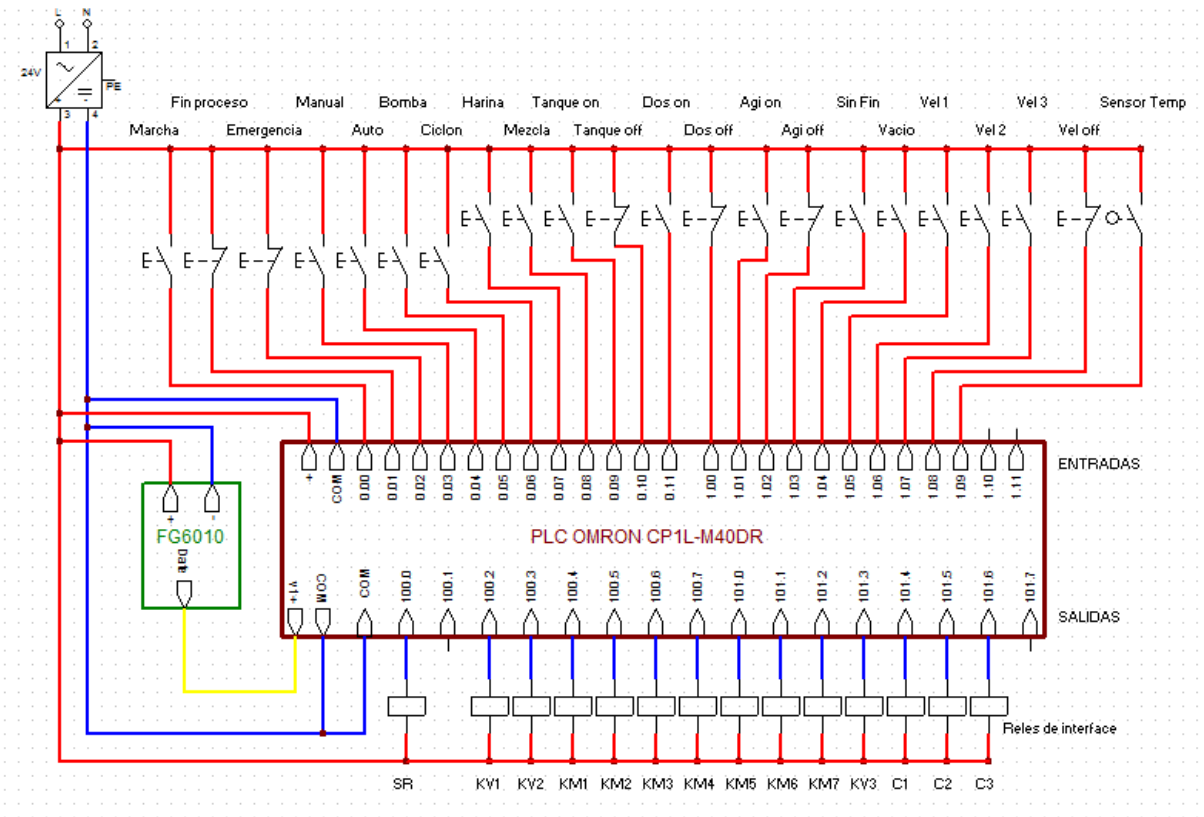
### 4.3. Diseño lógico para control de entradas y salidas del proceso

La lógica de entrada es aquel que se encarga del procesamiento binario de la información proveniente de las variables del sistema eléctrico de control y la planta, compuesto por el PLC, sensor de nivel y temperatura, pulsadores y selectores de mando hacia el controlador del proceso (PLC).

La lógica de salida es aquel que se encarga del procesamiento binario de la información proveniente del PLC hacia los relés de interface para la protección del controlador y de estos a los actuadores que arrancan los motores dentro del proceso de elaboración de pasta alimenticias.

El diseño de la lógica de entradas y salidas es el siguiente:

Figura 60: Lógica de control del proceso



Fuente: Elaboración propia

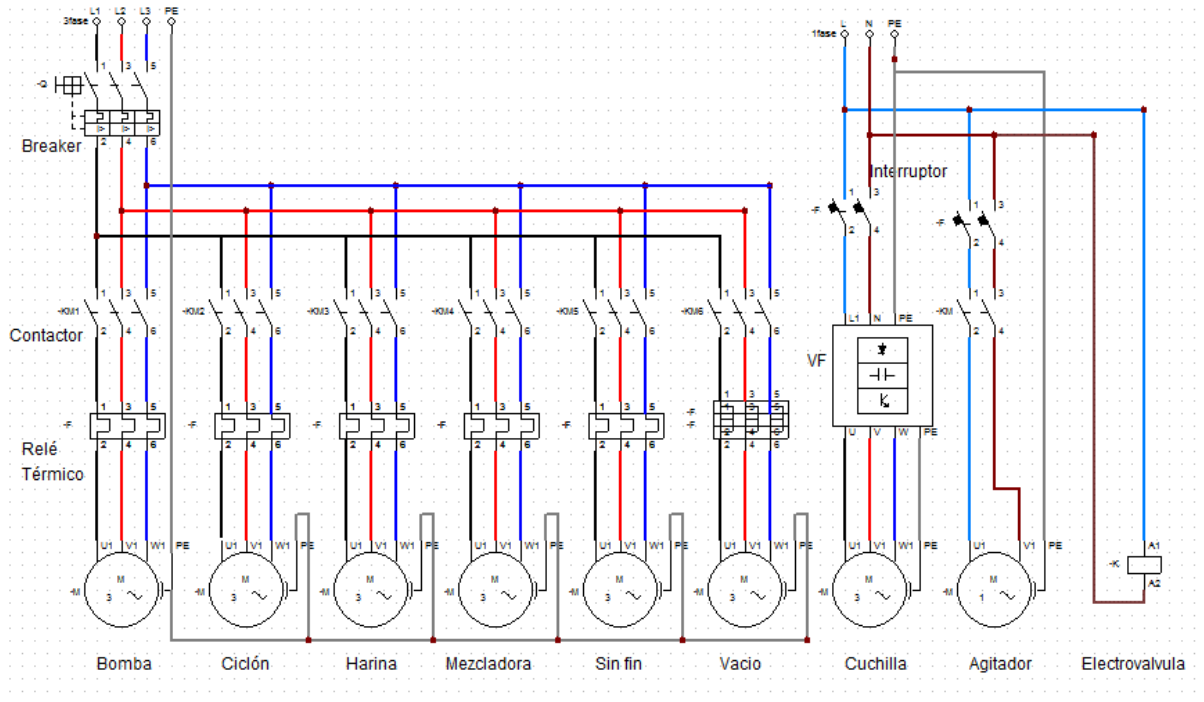
#### 4.4. Diseño lógico para control de potencia

La parte de potencia es aquella que se encarga de maniobrar toda la maquinaria de la planta, ya que se caracterizan por trabajar con tensiones elevadas. El control de potencias está compuesto por contactores, relés térmicos, variador de frecuencia y todos los motores que operan en las distintas etapas del proceso. Y para suministrar toda la energía trifásica hacia los motores, se tiene un breaker que según normativa provee de la protección de los elementos de potencia.

El diseño lógico de potencia es el siguiente:



Figura 61: Lógica de potencia del proceso



Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Ingeniería del hardware

Una vez obtenido cada uno de los equipos y componentes necesarios, se procede con las siguientes fases:

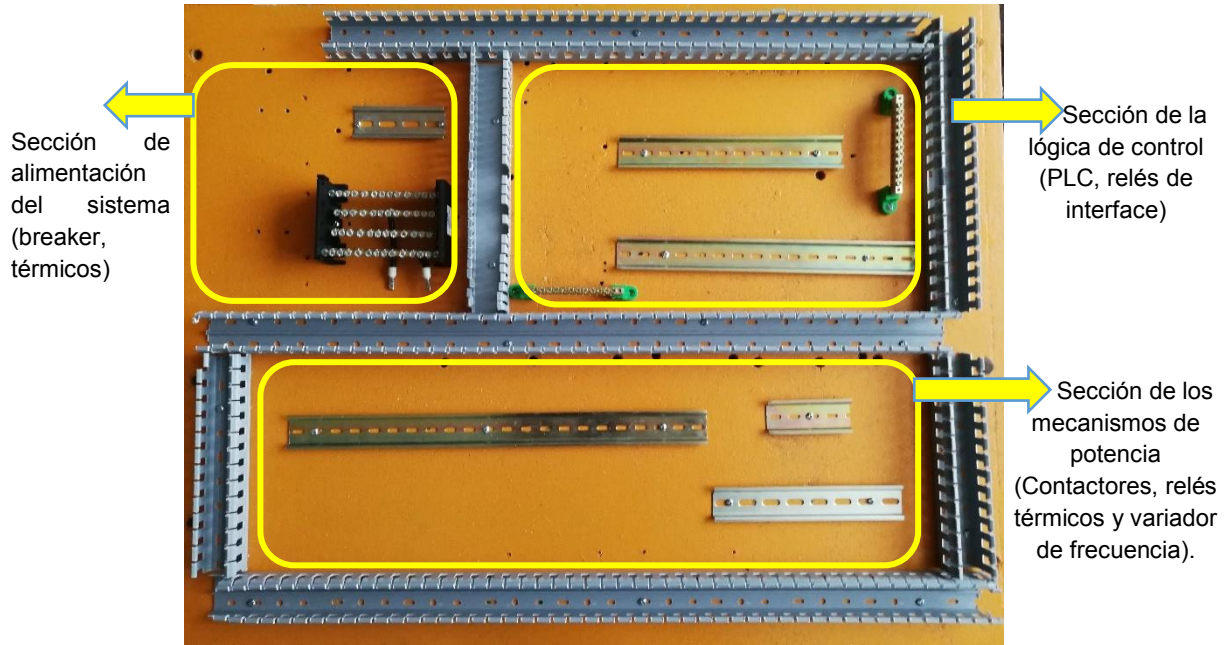
- Determinación del área de trabajo para el gabinete eléctrico.
- Asignación y cálculo estratégico de los elementos de control y potencia.
- Armado y conexión del sistema de control.

A continuación, se desarrollará dichas fases:

##### 4.5.1. Determinación del área de trabajo para el gabinete eléctrico

El área de trabajo para el gabinete eléctrico se dividió en dos secciones; el control y la potencia, a fin de no ocasionar interferencias electromagnéticas debido a que los componentes de la parte de potencia manejan gran cantidad de corriente, ocasionando errores y fallas en la medición de las entradas del sistema de control.

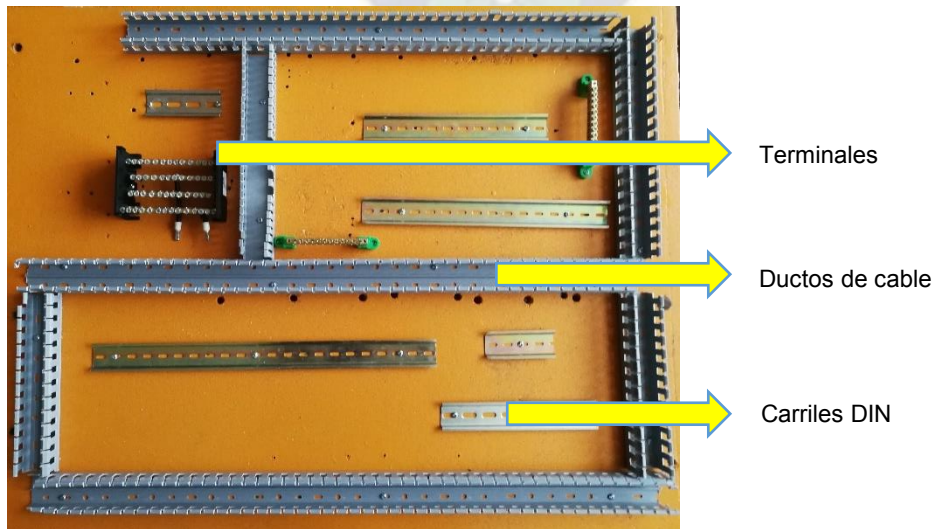
Figura 62: Distribución de la plancha de montaje



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se detalla los elementos de sujeción, unión y conductos que conforman las secciones, estos son los primeros pasos que se realizó para el armado de la plancha:

Figura 63: Elementos de sujeción



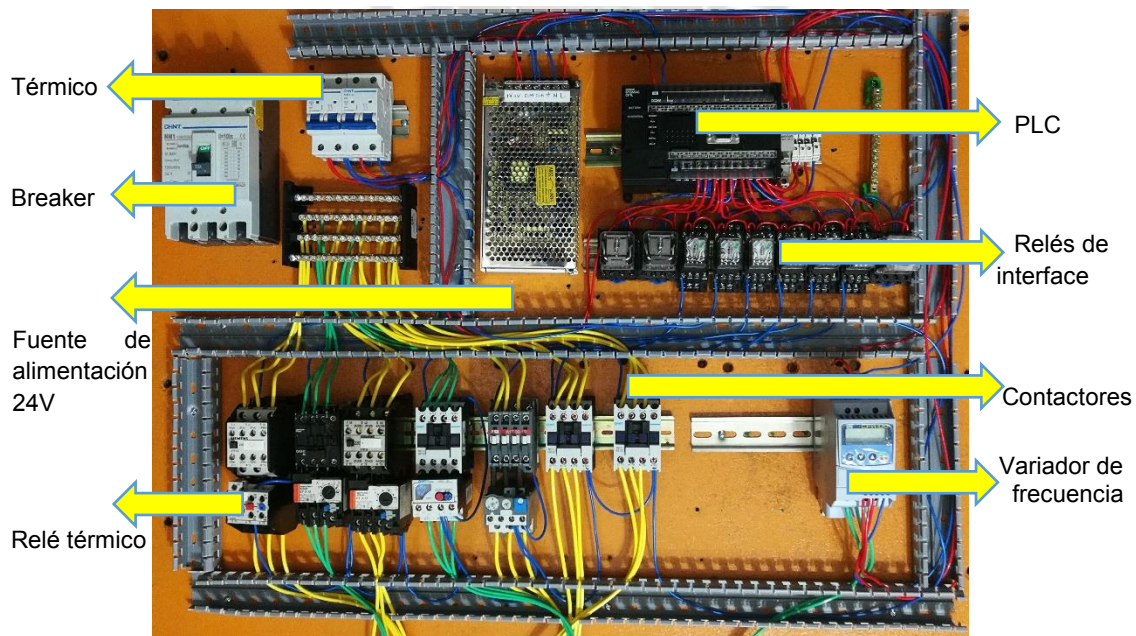
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2. Asignación y calculo estratégico de los elementos de control y potencia

Para optimizar el espacio que presenta la plancha (90x70 cm) del tablero eléctrico, se determinó la ubicación de cada uno de los elementos de control y potencia debido al grado de importancia de estos. En la parte superior derecha se encuentra la sección de la lógica de control, donde se instaló la fuente de alimentación de 24V, el PLC y los relés de interfase, esto por la razón de que cada uno de estos elementos operan a baja potencia, además de que los relés de interface deben ir conjuntamente con las salidas del PLC para proteger las sobretensiones que pueden generarse en las salidas del PLC.

Posteriormente se asignó la posición del variador de frecuencia y la de los contactores cada uno con su propio relé térmico, todos estos elementos dentro de la sección de potencia en la parte inferior de la plancha y alejados de la sección de control debido a que operan con grandes cantidades de corriente.

Figura 64: Distribución de los elementos de control y potencia



Fuente: Elaboración propia

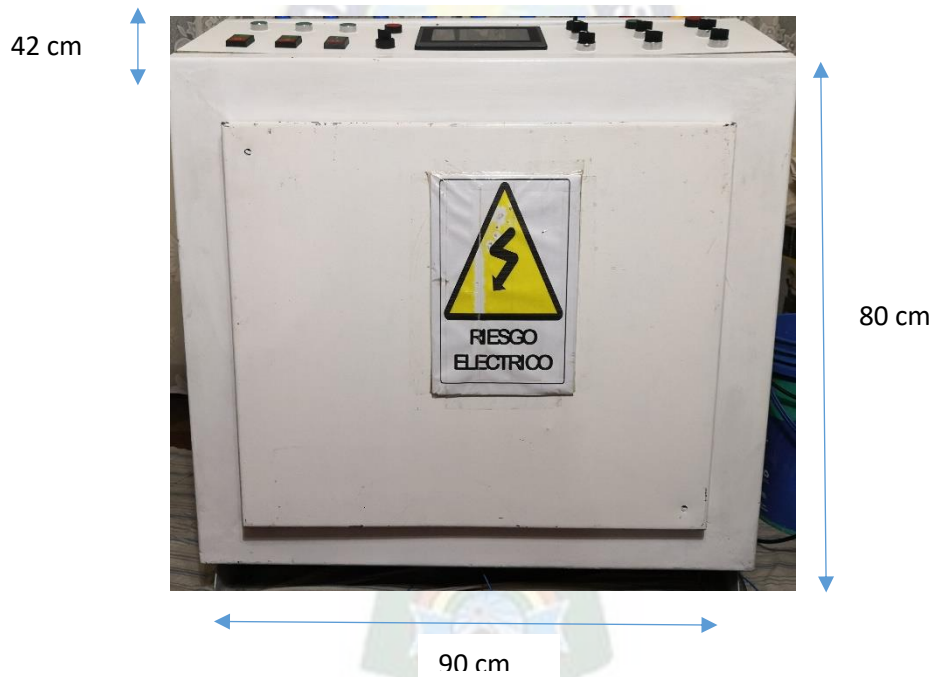
Por último, se asignó la posición de los elementos de alimentación y protección general del sistema eléctrico que son el breaker para proteger la sobretensión de todos los motores y los térmicos para proteger la sobretensión del variador de frecuencia y de la sección de control.

#### 4.5.3. Configuración del sistema eléctrico de control

El tablero eléctrico diseñado para albergar todos los elementos de control descritos para el proceso, es de tipo pupitre, ya que tiene que apartar los elementos de mando de los elementos de control, haciendo a este último de difícil acceso para el personal no calificado.

Las dimensiones del tablero eléctrico son las siguientes:

Figura 65: Dimensiones del gabinete eléctrico

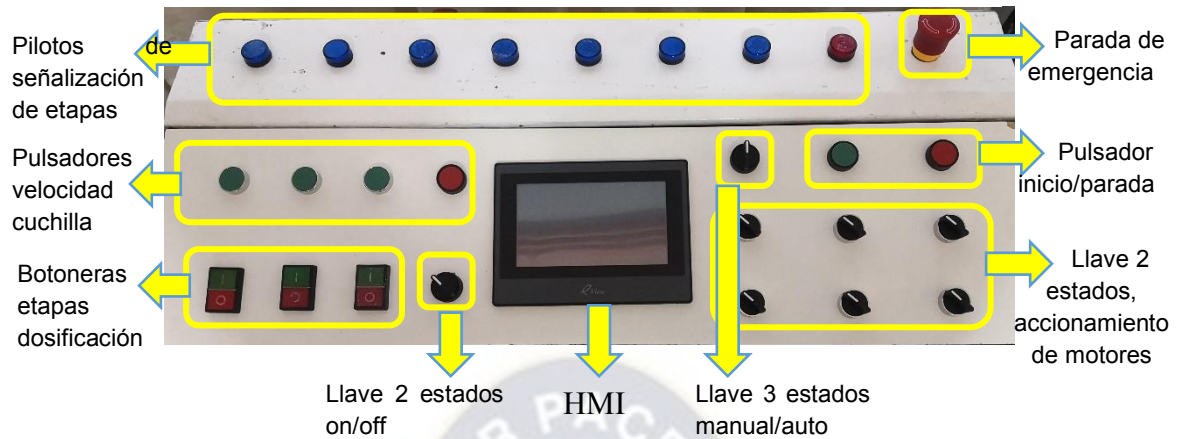


Fuente: Elaboración propia

Una vez asignados los elementos de control y potencia, se procedió al armado y conexión de la cara superior frontal del tablero con la plancha, los cuales son descritas en las siguientes gráficas:

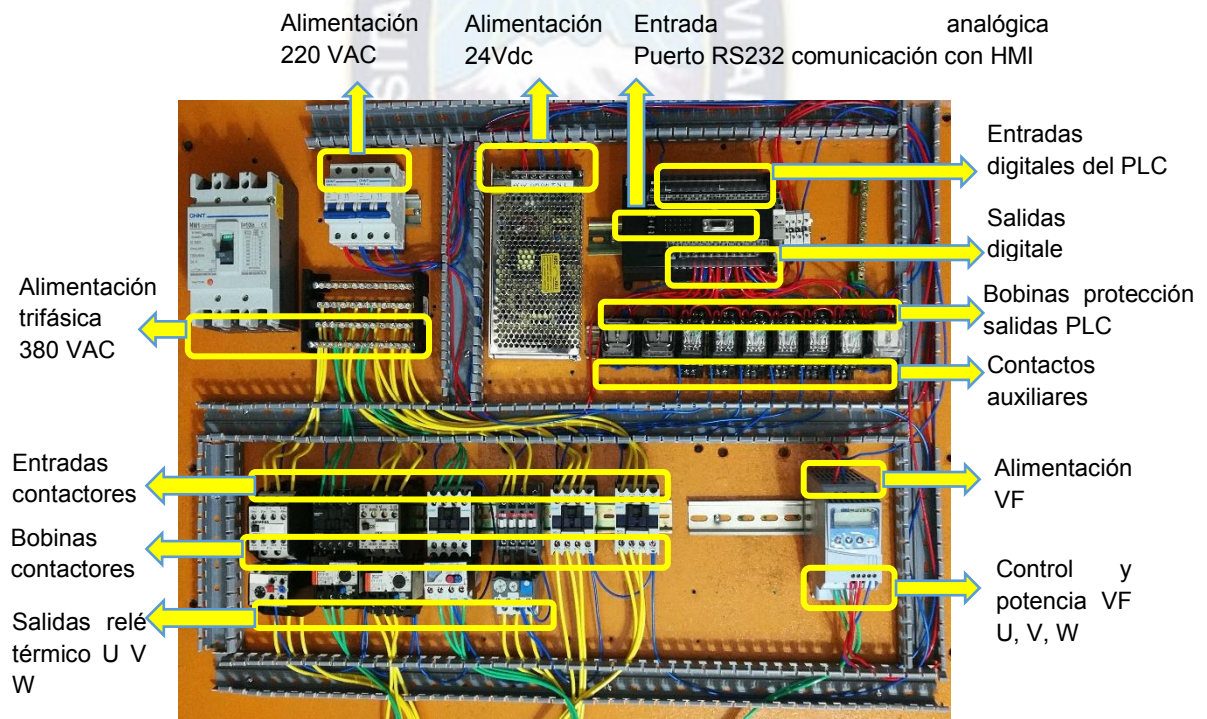


Figura 66: Descripción de la conexión de la cara frontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 67: Descripción de la conexión del sistema en la plancha



Fuente: Elaboración propia

Se comenzó con la alimentación primaria, encargada de distribuir la energía a todo el circuito eléctrico y se finalizó con la parte de control y de potencia, la cual será alimentada con un

voltaje de 220VAC monofásico, porque el variador de frecuencia, bobinas del contactor y fuente de alimentación conmutada trabajan a esa tensión. El PLC, sensor de temperatura, relés de interface y todos los accionadores de mando trabajan con 24 VDC que suministra la fuente de alimentación conmutada. El breaker, contactores y relés térmicos, trabajan a una tensión de 380 VAC trifásico que se instalaran a la línea trifásica de la red eléctrica.

Las entradas del PLC fueron conectadas con:

El pulsador de inicio (color verde), para dar MARCHA al proceso de elaboración de pastas alimenticias.

Los pulsadores de parada (color rojo), se cuenta con dos tipos de parada, el primero se encarga de la parada de FIN DE PROCESO, cuando todas las etapas están encendidas y se requiere terminar todo el proceso de una manera normal y la parada de EMERGENCIA, este como su nombre lo indica detiene todo el proceso de forma inmediata.

Las botoneras individuales, que servirán para el encendido y apagado de todos los actuadores de la etapa de dosificación (válvula de alimentación, válvula de apertura y agitador), estos se activan tanto en el modo automático como el modo manual del proceso.

La llave selectora de dos estados, que servirá para el encendido y apagado manual de todo el sistema eléctrico. Y otros seis para el accionamiento en modo manual de todos los motores del proceso de elaboración de pastas alimenticias.

La llave selectora de tres estados, que servirá para la selección del modo automático y el modo manual.

Los tres pulsadores verdes y uno rojo, que determinan la velocidad del variador de frecuencia siendo configuradas con el primero a una velocidad baja, el segundo a una velocidad media y el tercero a una velocidad alta, el ultimo de color rojo detiene el variador de frecuencia sea cual sea la velocidad con la que esté trabajando.

El sensor de temperatura se conectó a la entrada analógica del PLC con un voltaje de salida de 0 – 10 VDC que varía según la temperatura del líquido de la etapa de dosificación.

Las salidas del PLC fueron conectadas con las bobinas de los relés de interface, ya que las salidas del PLC son transistorizadas y de baja corriente, por lo que requiere una protección extra para proteger sus salidas de fuertes cargas de corriente que pueden llegar a causar malos funcionamiento en el PLC.

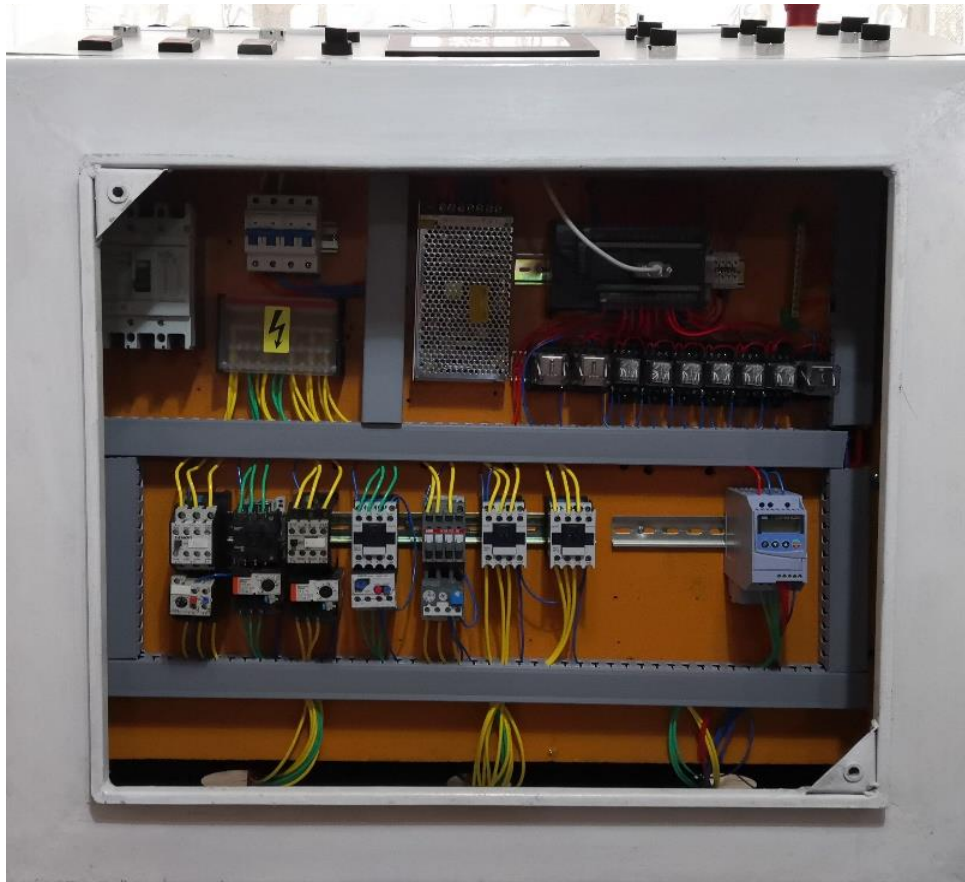
Los contactos auxiliares de los relés de interface se conectaron con las bobinas de los contactores para su accionamiento con la electroválvula, la válvula de apertura, el agitador y con las entradas digitales del variador de frecuencia para controlar el START/STOP y la velocidad del motor de la cuchilla. Así también con los pilotos de señalización del funcionamiento de los motores de cada etapa del proceso de elaboración de pastas alimenticias.

La comunicación del PLC fue conectada con la HMI Kinco mediante un cable serial RS232, para que el operador pueda ver el proceso de manera local y en tiempo real, teniendo acceso a lo que está sucediendo con el proceso y sus variables.

El PLC se conecta con el computador mediante un cable serial USB tipo B, dentro del cual está instalado el programa de supervisión para el control y operación del proceso de manera remota.

Para entregar corriente trifásica a los motores de cada una de las etapas, se partió con la instalación del breaker que en sus entradas se conectaron con la línea trifásica de la red eléctrica, de sus salidas se distribuyó a cada uno de los contactores que accionan el motor y después pasar por los relés térmicos para dar una mayor protección y así llegar a las terminales de cada motor trifásico.

Figura 68: Gabinete eléctrico de control culminado



Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Ingeniería del software

Se procedió a diseñar el programa acorde a los requerimientos y características del sistema eléctrico ya armado y conectado. La misma está conformada por cinco fases que se desarrollan de manera secuencial, las cuales son:

- Análisis metodológico para la construcción de los programas
- Configuración de los programas de control
- Configuración de los programas de supervisión
- Configuración de los elementos de comunicación
- Seguridad en el sistema de supervisión

A continuación, se desarrollará dichas fases:

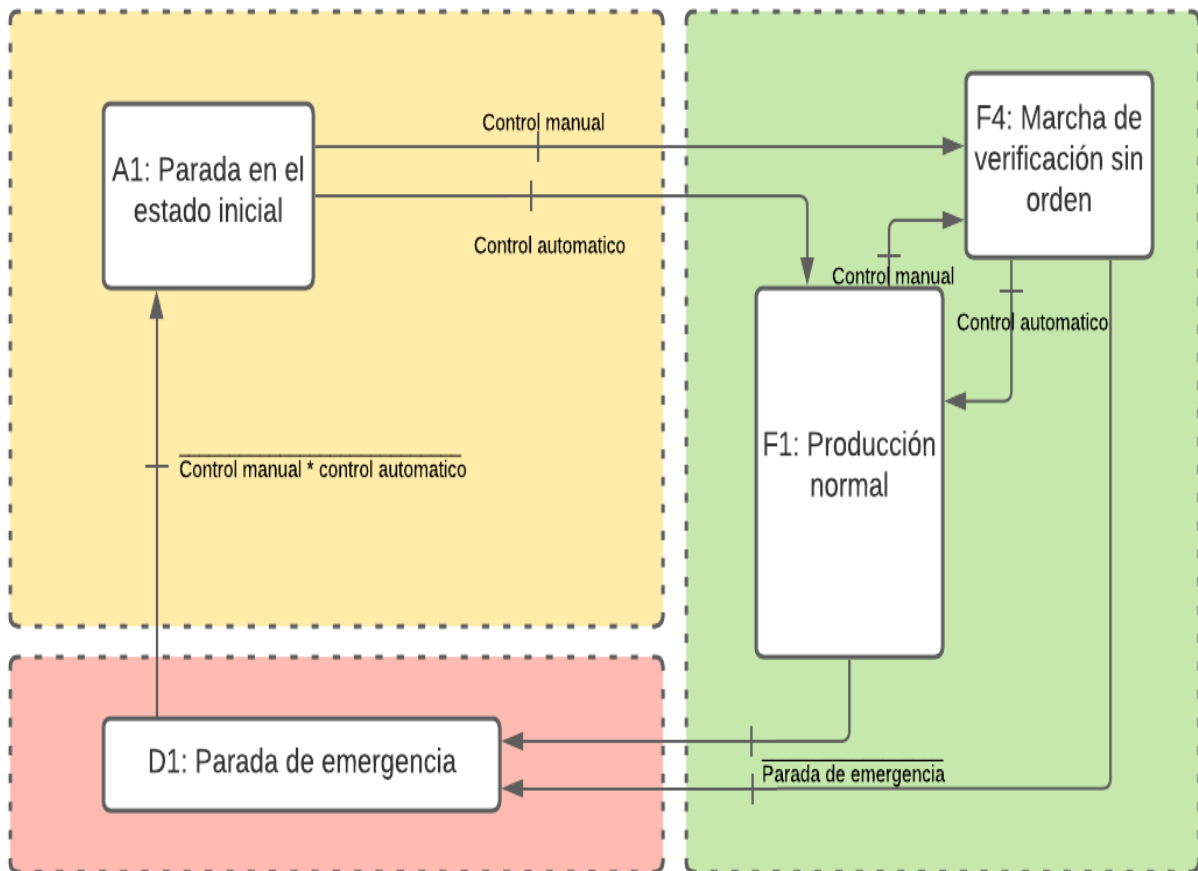


#### 4.6.1. Análisis metodológico para la configuración de los programas

La metodología usada para programar el proceso es la llamada guía GEMMA acompañada de los diagramas de control de etapas y transiciones (GRAF CET), descritas a continuación:

Los estados de evolución de la guía GEMMA que se utilizaron para la automatización del proceso descrito son:

Figura 69: Estados de GEMMA



Fuente: Elaboración propia

Son los cuatro estados que se utilizaron de la guía GEMMA, a continuación, se realiza una descripción de estos aplicado al proceso.

F1: Producción normal

En este estado la planta de pastas alimenticias produce con normalidad, en forma automática, repitiendo el ciclo de producción, desde este puede evolucionar al estado de marcha de

verificación sin orden cambiando el selector a modo manual, puede ser detenido con el pulsador de parada de fin de proceso o el de emergencia y pasar a otros estados.

#### F4: Marcha de verificación sin orden

En este estado la planta desarrolla el proceso según el operador, teniendo bajo su mando el accionamiento de cada uno de los actuadores, en este estado no depende de un proceso al cual seguir, pudiéndose activar los actuadores en cualquier momento y en cualquier orden. Generalmente son usados cuando hubo alguna falla dentro del proceso automático y poder solucionar con el procedimiento manual.

Igualmente se puede parar todos los actuadores con sus propios pulsadores de paro o con uno general que es la parada de emergencia, evolucionando así a otros estados para su operación.

#### A1: Parada en el estado inicial

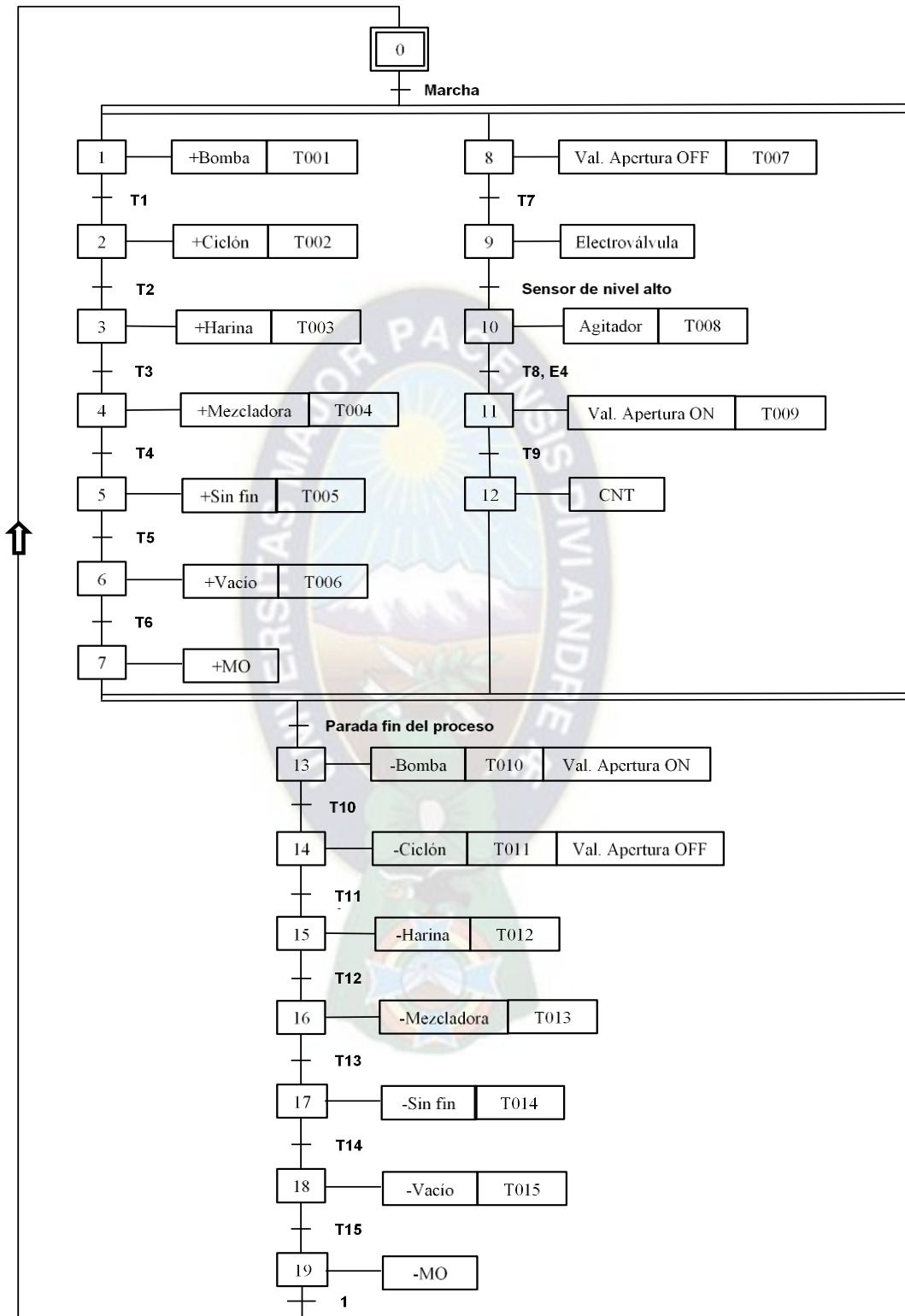
Es un estado de reposo que cuando se enciende el equipo pasa directamente a este con sus condiciones iniciales para poder arrancar el proceso, también se puede acceder a este estado cuando se haya pulsado el botón de emergencia y nuevamente pasar a un estado inicial del equipo.

#### D1: Parada de emergencia

Este estado solo puede ser accedido cuando se haya pulsado la parada de emergencia, deteniendo todo el proceso en cualquier estado que se encuentre y pasando un cierto tiempo se pasará al estado A1 de forma automática para arrancar nuevamente el proceso.

A continuación, se representa cada estado de la guía GEMMA con un diagrama funcional GRAFCET de nivel 2.

Figura 70: GRAFCET F1: Producción normal



Fuente: Elaboración propia

Inicialmente en la etapa 0, el proceso en la producción normal está en reposo, esperando a que se presione el botón de marcha para dar inicio.

Una vez iniciado el proceso se abre un paralelismo estructural con dos caminos, el primero es la secuencia de activación de los motores trifásicos y el segundo es la activación de la etapa de dosificación del líquido.

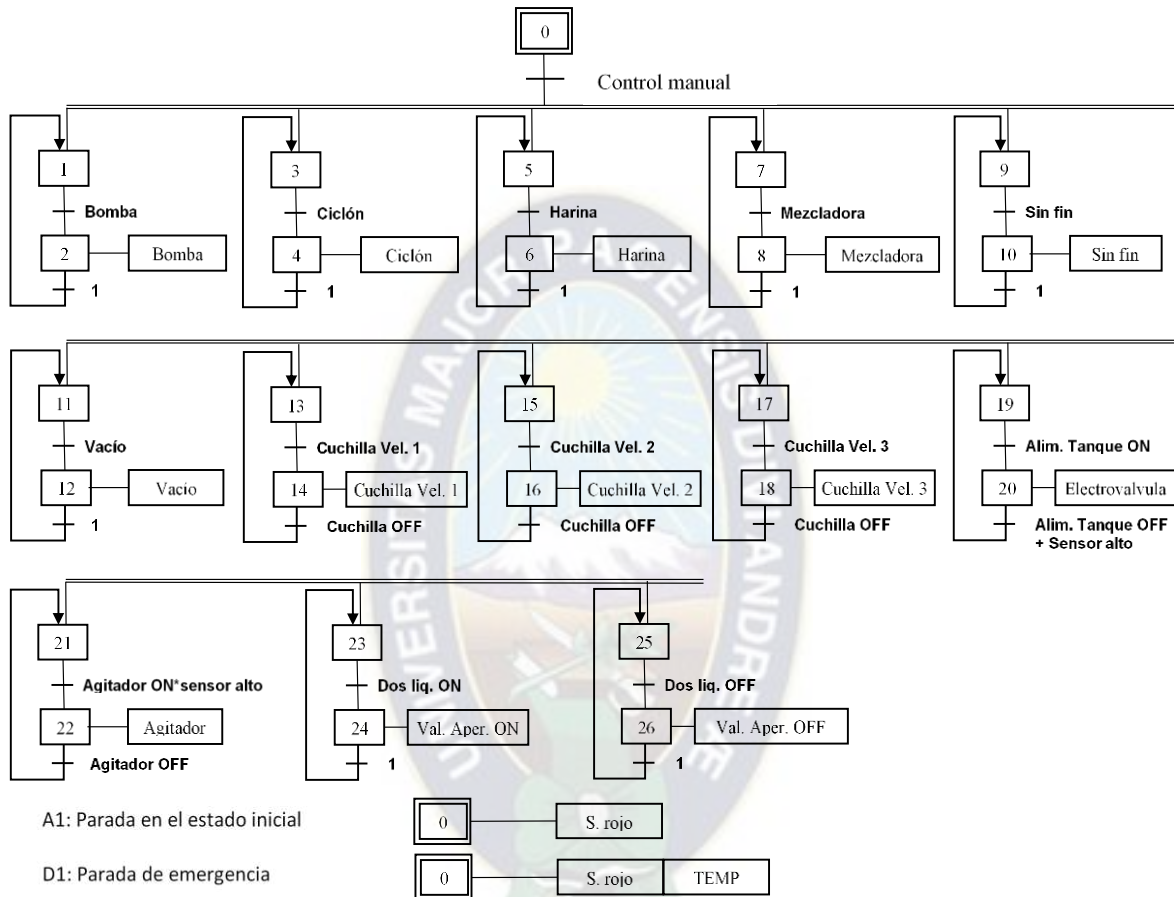
Siguiendo el primer camino después de pulsar marcha, se activa la etapa 1 inmediatamente el motor que controla la bomba empieza a funcionar y pasando un tiempo T1 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 2 el motor que controla el ciclón empieza a funcionar y pasando un tiempo T2 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 3 el motor que controla la harina empieza a funcionar y pasando un tiempo T3 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 4 el motor que controla la mezcladora empieza a funcionar y pasando un tiempo T4 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 5 el motor que controla el sin fin empieza a funcionar y pasando un tiempo T2 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 6 el motor que controla el vacío empieza a funcionar y pasando un tiempo T6 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 7 el motor que controla la cortadora empieza a funcionar y se queda en esta etapa hasta que la etapa 12 esté en funcionamiento y se presione el botón de fin de proceso.

En el segundo camino del paralelismo se activa la etapa 8, cerrando la válvula de apertura para que no salga líquido del tanque de dosificación, pasando un tiempo T7 pasa a la siguiente etapa. En la etapa 9 entra en funcionamiento la electroválvula haciendo que el tanque de líquidos se empiece a llenar hasta que el sensor de nivel alto se active e indique que el tanque está lleno pasando así a la siguiente etapa. Ya en la etapa 10 empieza a funcionar el agitador y el calentador para tener una temperatura establecida por el operador y uniforme, y también para mezclar los ingredientes necesarios para la fabricación de pastas en el líquido.

Una vez teniendo el líquido resultante y pasado un tiempo T8 la válvula de apertura se activa y dosifica el líquido resultante a la etapa del mezclado en el proceso de elaboración de pastas

alimenticias. Y una vez que se pulso el botón de parada fin del proceso todos los actuadores se van apagando en secuencia en un establecido tiempo e iniciar otra vez el proceso.

Figura 71: GRAFCET F4: Marcha de verificación sin orden



Fuente: Elaboración propia

Empieza en la etapa 0, esperando a que se presione el botón de control manual e inmediatamente después pasa a un paralelismo estructural en la que varias etapas funcionan al mismo tiempo, es por esa razón que en este estado todos los actuadores disponibles en la planta pueden accionarse sin seguir un proceso productivo.

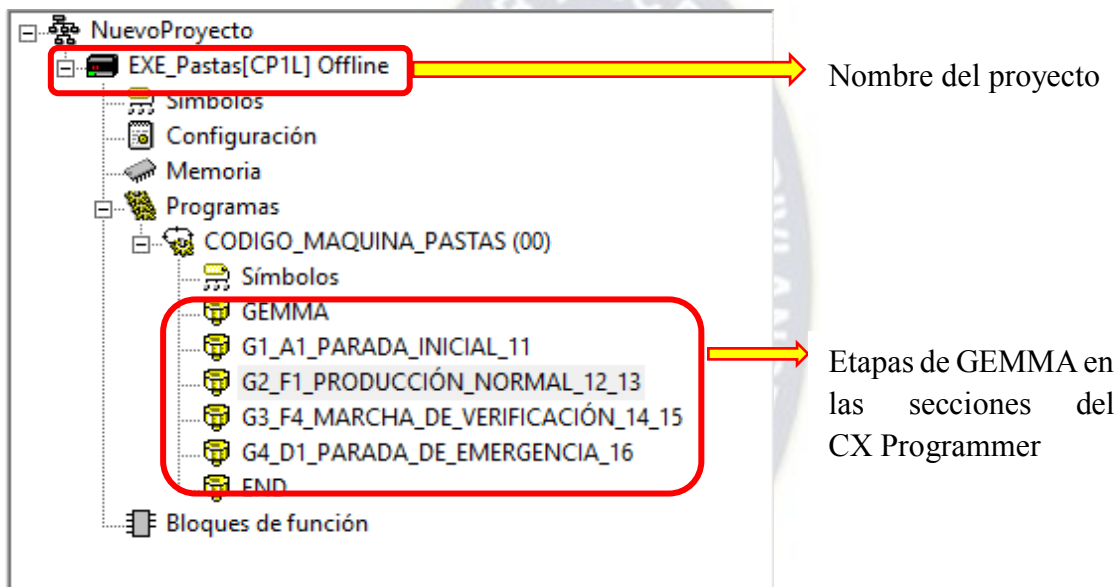
Este estado de la guía GEMMA mayormente se usa para corregir los defectos provocados en la producción automática y dependerá del operador la función que le da a cada actuador para continuar con el proceso.

#### 4.6.2. Programación del sistema de control

Para la interpretación de los gráficos de control y transición por etapas con la guía GEMMA, se procedió con la traducción de los mismos al lenguaje escalera para posteriormente introducirlo en el software CX Programmer.

El área de trabajo donde se visualiza todas las secciones del programa según la guía GEMMA, es:

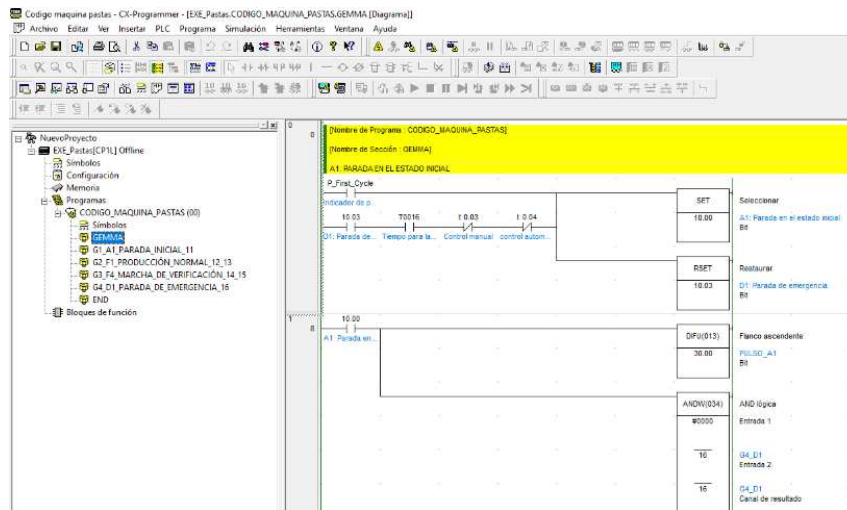
Figura 72: Área de trabajo CX Programmer



Fuente: Elaboración propia

Vemos en el área de trabajo todas las etapas de la guía GEMMA A1, F1, F4 y D1, donde todas están en lenguaje escalera y programadas de acuerdo a las etapas y transiciones ya vistas del GRAFCET las cuales son:

Figura 73: Estados de la guía GEMMA

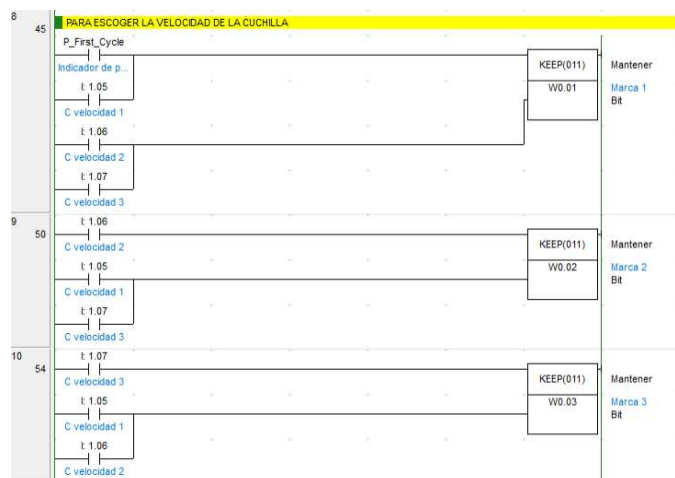


Fuente: Elaboración propia

En la anterior figura muestra la programación de la guía GEMMA y cada uno de sus estados con sus propias condiciones para pasar de un estado a otro, todos los demás estados se programan de manera similar.

Ahora mostramos como se programó en el PLC la parte de la velocidad variable de la cuchilla, como se habló en las especificaciones del proyecto, la etapa del cortado necesita tener tres tipos de velocidades (baja, media y alta), y para introducirlo en el lenguaje escalera se usó el siguiente código:

Figura 74: Bits de trabajo para las velocidades de la cuchilla

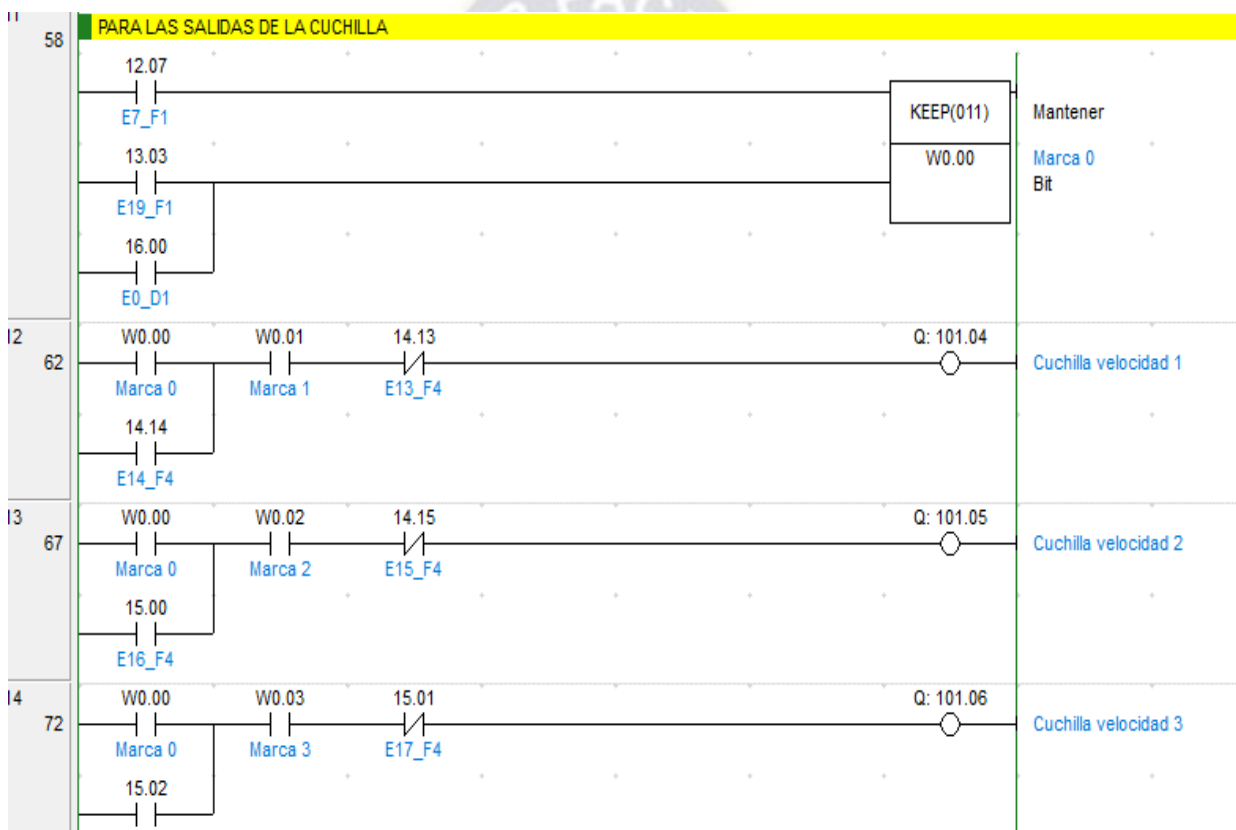


Fuente: Elaboración propia

Cada bit de trabajo W representa un tipo de salida auxiliar para la velocidad y para que solo pueda mantenerse funcionando solo una a la vez y no dos, ya que eso podría ocasionar fallas al variador de frecuencia.

La marca 0 funciona como la salida única para la velocidad en las etapas, y las marcas 1, 2, 3 son las distintas salidas para el variador de frecuencia y las distintas velocidades tanto en el modo automático como el modo manual.

Figura 75: Salidas del PLC para el variador de frecuencia



Fuente: Elaboración propia

Para procesar la variable analógica (temperatura) se realizó el escalonamiento en variables que pueda entender el PLC y poder asignar el tipo de dato que manejará durante todo el proceso de lectura de la variable analógica, así como también los rangos.



Figura 76: Escalonamiento de la temperatura



Fuente: Elaboración propia

Para la configuración del variador de frecuencia se usó dos softwares propios de la marca WEG que son: el superdriveG2 y el WEG Ladder programmer.

Con el primero tenemos la opción de escoger los parámetros del variador de frecuencia y configurar aquellos parámetros que vamos a utilizar, todo ello de una manera fácil e intuitiva dentro del software superdriveG2, una vez escogido todos los parámetros que utilizaremos en el variador de frecuencia, cargamos los ajustes establecidos al equipo mediante un cable serial USB tipo C.

Figura 77: Interfaz superdriveG2



Fuente: Elaboración propia

En la anterior figura tenemos una lista de parámetros que soporta el variador de frecuencia CFW100, las cuales se dividen en:

Tabla 17: División de parámetros del variador de frecuencia

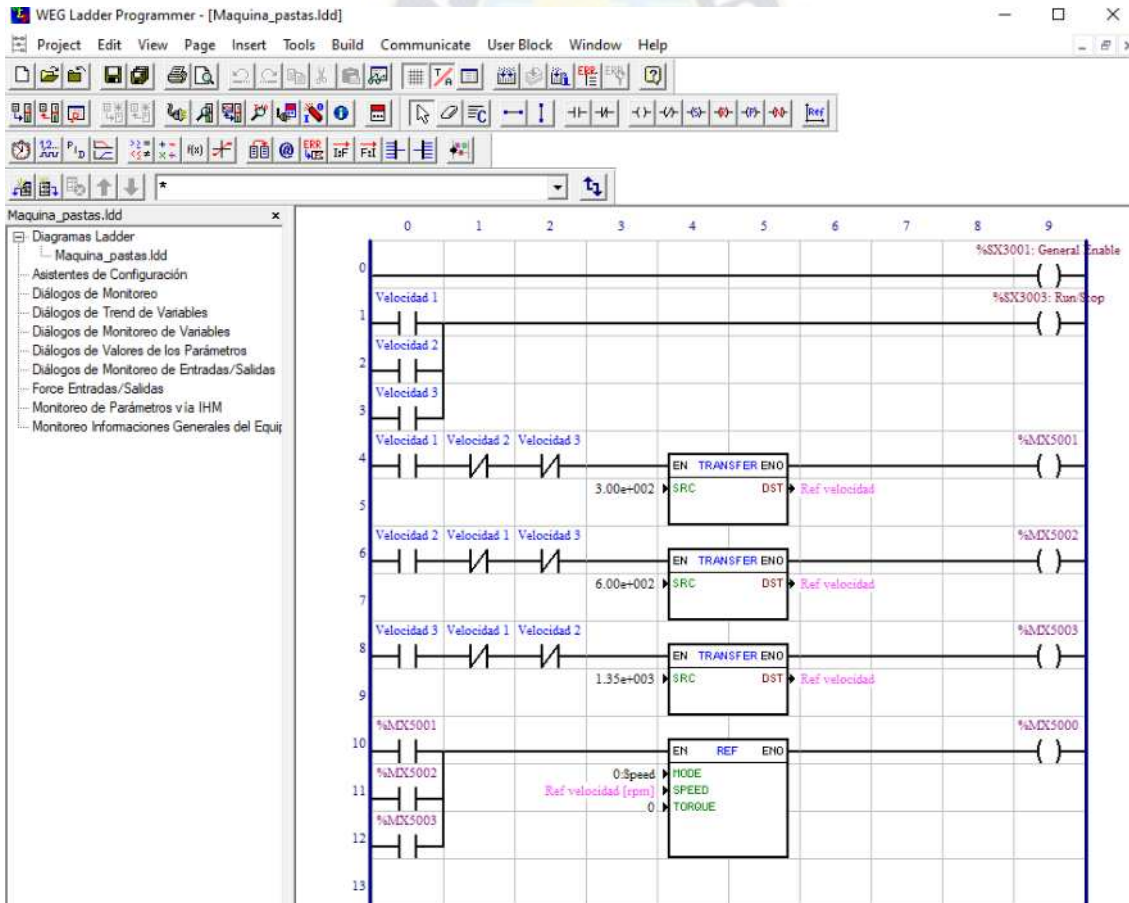
Parámetros de lectura	P0001 - P0075
Parámetros de regulación	P0100 - P0178
Parámetros de configuración	P0200 - P0397
Parámetros del motor	P0399 - P0409
Funciones especiales (PID)	P0510 - P0536
Parámetros de la comunicación	P0680 - P0968
Parámetros para SOFTPLC	P1000 - P1059

Fuente: Elaboración propia

Primeros pasos para realizar la parametrización del variador de frecuencia

- ✓ Configurar los parámetros del motor en base a la tabla 15 (P202, P399 – P407).
- ✓ Configurar los tiempos de aceleración, desaceleración y los rangos de frecuencia mínima y máxima. (P100, P101, P133, P134).
- ✓ Configurar los modos de operación local o remoto (P220 – P228), donde cada uno de estos parámetros se debe configurar en el modo softPLC en cada uno de ellos.
- ✓ Una vez configurado los parámetros señalados con softPLC, procedemos a programar en el WLP el programa para las múltiples velocidades en la etapa de cortado.

Figura 78: Programa Ladder del variador de frecuencia



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica del lenguaje escalera del variador de frecuencia vemos la estructura para el arranque del motor, la primera línea con el habilita general, por lo cual si no estuviera habilitado

el motor no podría arrancar por más marcha que le demos, la segunda línea es para encender y apagar el giro del motor, la función transfer para transferir valores diferentes a la referencia de la velocidad del motor.

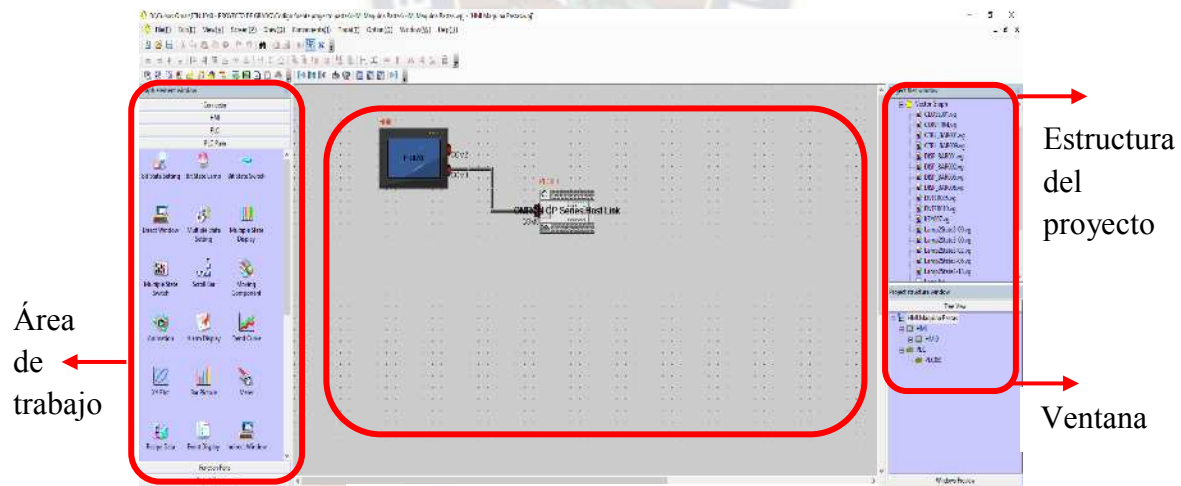
### 4.6.3. Configuración de los programas de supervisión

En esta parte se cuenta con dos programas de supervisión, una que es del HMI para supervisar el proceso de manera local y otra que es el SCADA para maniobrar el proceso de elaboración de pastas alimenticias de manera remota.

#### 4.6.3.1. Programación de la Interfaz humano maquina HMI

El HMIware es un software especializado para la construcción de interfaces de la marca kinco. Es suficientemente flexible para trabajar sobre un solo PLC o sobre un sistema entero de producción. La programación se realiza en un entorno Windows de forma intuitiva mediante scripts y ventanas.

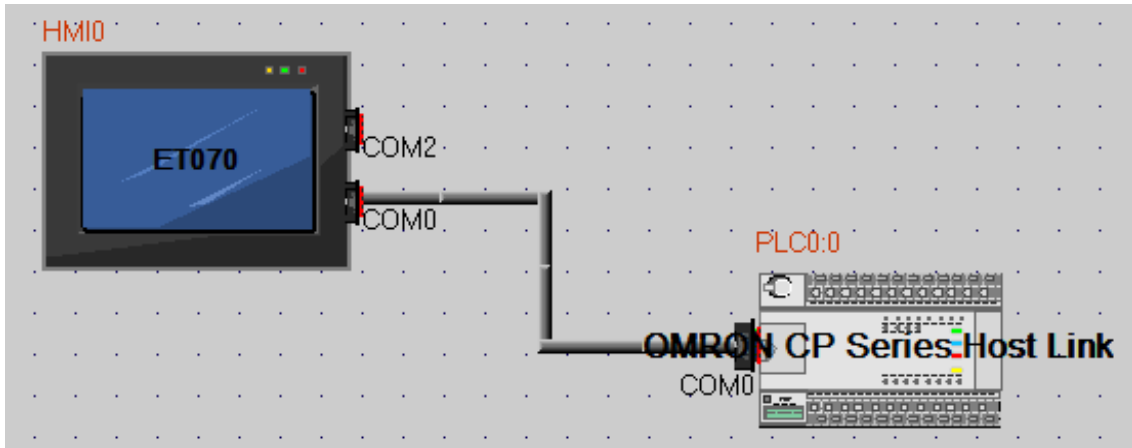
Figura 79: Interfaz HMIware



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente grafica se ve la conexión del PLC con la HMI, mediante un cable serial RS232 en los puertos de comunicación COM de los equipos, una conexión punto a punto entre ambos equipos donde la HMI muestra datos de vital importancia para el operador acerca del proceso.

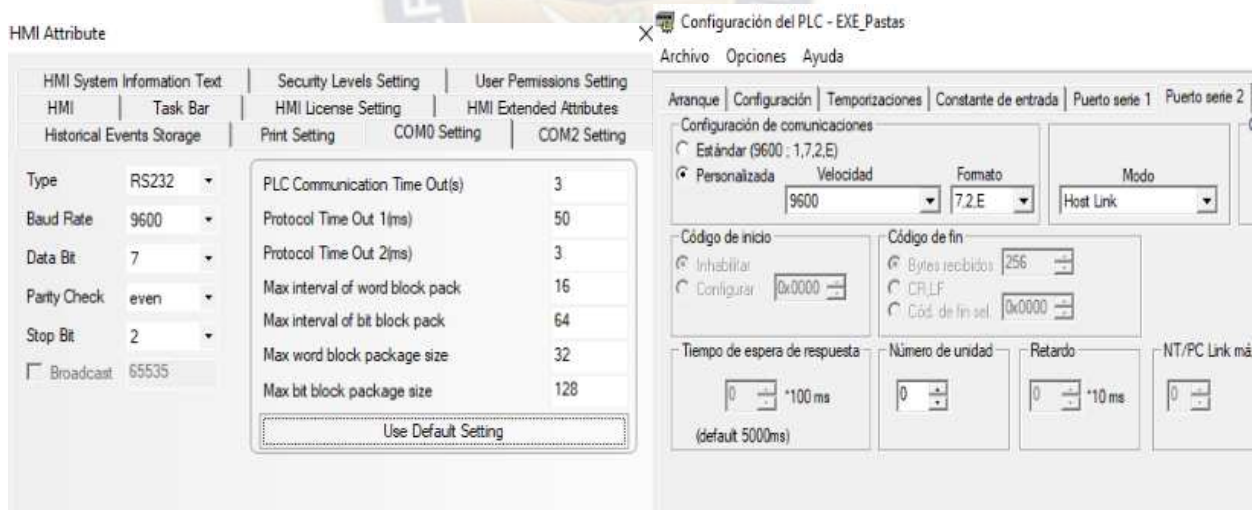
Figura 80: Conexión PLC - HMI



Fuente: Elaboración propia

Para poder realizar la comunicación entre ambos equipos se configuró algunos atributos dentro el software de la HMI y del PLC, las cuales son:

Figura 81: Atributos de comunicación RS232 (HMI – PLC)



Fuente: Elaboración propia

Para la HMI se crearon cuatro ventanas interrelacionadas todas ellas, donde se mostrará los actuadores y también las etapas del proceso de elaboración de pastas alimenticias.

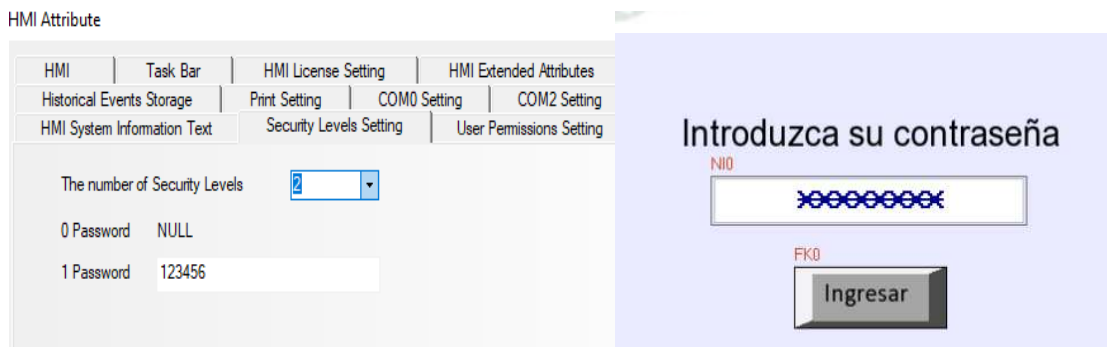
Figura 82: HMI ventana de inicio



Fuente: Elaboración propia

Esta ventana se mostrará al energizar el sistema eléctrico de control, en ella se tiene el diagrama de todo el proceso que se realiza para la elaboración de pastas alimenticias, además de contar con señalizadores de las etapas que sigue el proceso desde la recepción de materia prima hasta la etapa de cortado y por último el secado, a partir de esta ventana se puede acceder a la visualización de los estados de los actuadores y al de la temperatura. Antes de poder ingresar a la ventana de los actuadores, se tiene que realizar una autenticación del personal e ingresar con una contraseña como se ve en la siguiente figura:

### Seguridad en la HMI



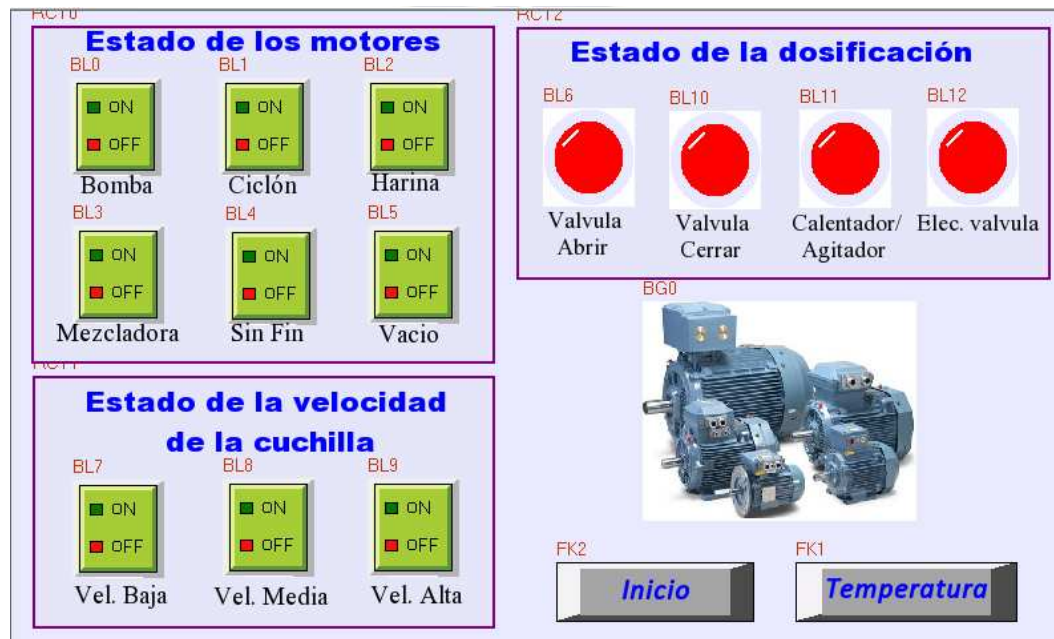
Fuente: Elaboración propia



En la HMI existe para configurar varios niveles de seguridad para operar el equipo, desde el nivel 1 al nivel 6, dentro de la pantalla para el proceso se configuró dos niveles de seguridad, la primera tiene un acceso solo a la ventana de información de la empresa y la segunda tiene acceso a todas las ventas.

Una vez hecho la autenticación se podrá ingresar a las ventanas que requerían la contraseña las cuales son:

Figura 83: HMI ventana de estado de los actuadores



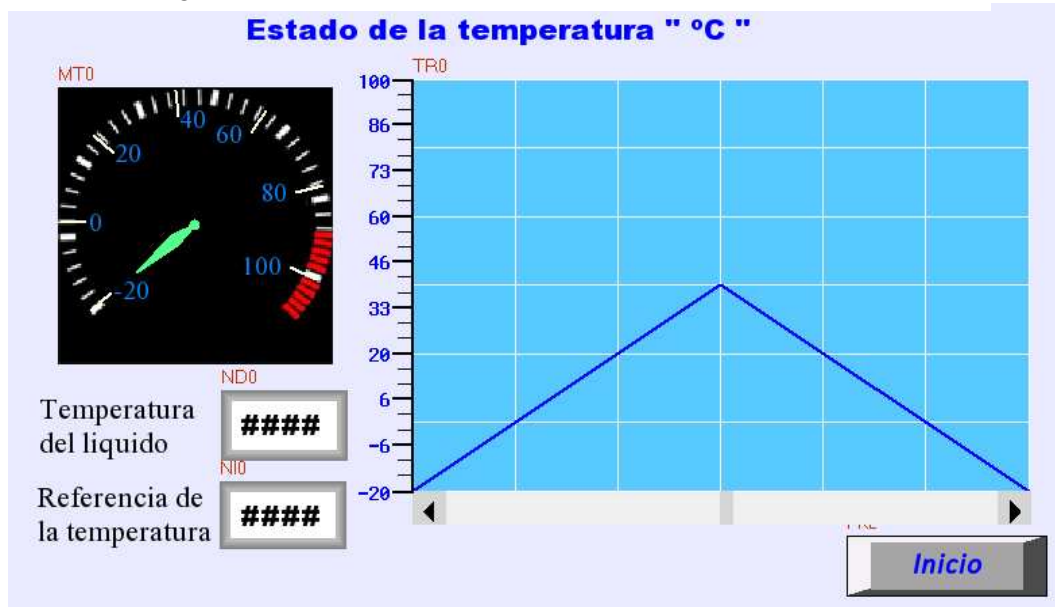
Fuente: Elaboración propia

En esta ventana el operador podrá visualizar el estado en que se encuentran los motores, la velocidad de la cuchilla, las válvulas y el agitador. Se tendrá una supervisión de que actuador está en operación y cuales no lo están.

En la siguiente ventana se visualiza el estado de la temperatura como variable de proceso en la etapa de dosificación, mediante un medidor, una gráfica y una salida de texto podemos observar la temperatura del líquido en la etapa de dosificación y que se actualiza a cada segundo.

También se cuenta con una entrada de texto que sirve para poner la referencia de temperatura a la cual debe llegar el líquido en la etapa de dosificación, la referencia de temperatura dependerá del operador y del tipo de pastas que este en producción.

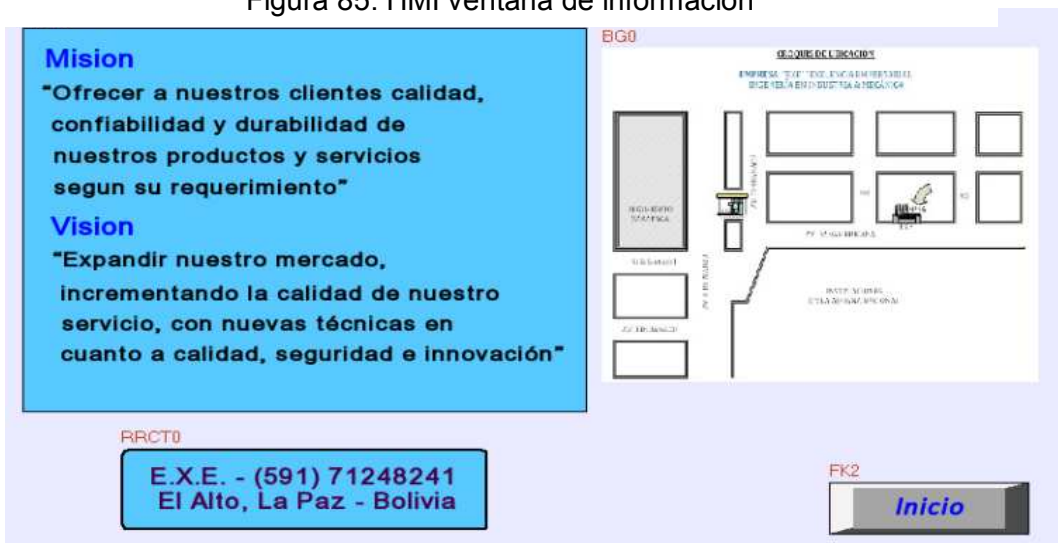
Figura 84: HMI ventana de estado de la temperatura



Fuente: Elaboración propia

En la última ventana tenemos información sobre la empresa, su misión y visión, así como también la dirección donde podemos encontrarlo y el teléfono celular del encargado.

Figura 85: HMI ventana de información



Fuente: Elaboración propia

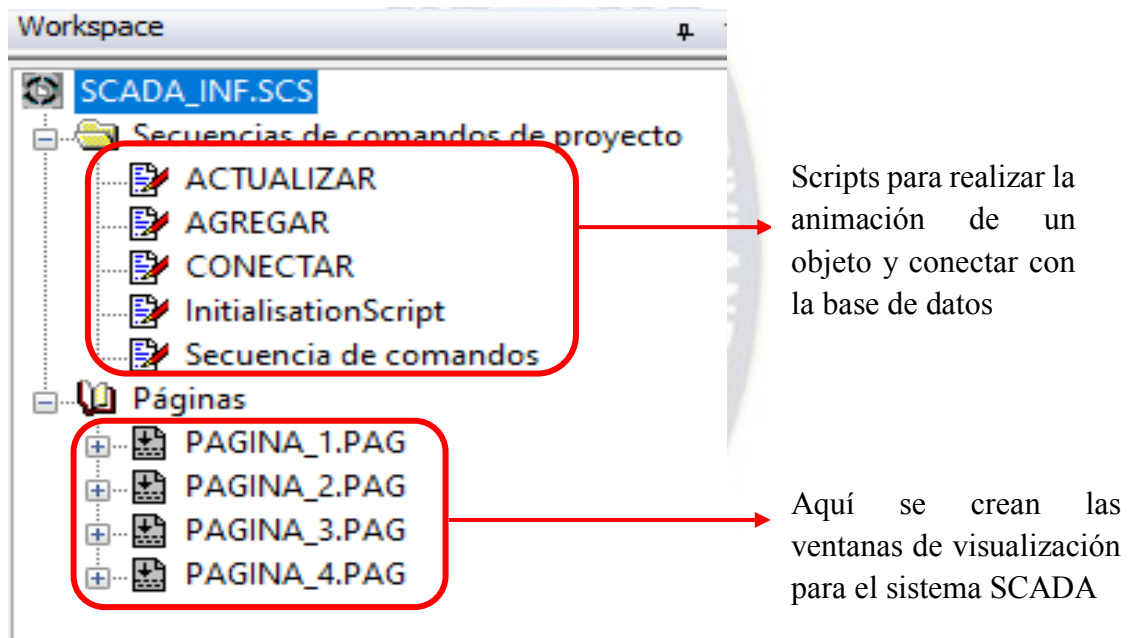


#### 4.6.3.2. Programación de la Interfaz humano maquina SCADA

El diseño del sistema SCADA, fue realizado en base a la programación ya presentada anteriormente, siguiendo como referencia los requerimientos y características del sistema eléctrico del proceso de elaboración de pastas alimenticias y los parámetros requeridos para su control.

A continuación, se detalla el software CX Supervisor donde se diseñó el sistema SCADA del proceso:

Figura 86: Área de trabajo CX Supervisor



Fuente: Elaboración propia

Esta área de trabajo consta de dos partes:

Secuencias de comando del proyecto. - En esta parte se anotan los comandos (lenguaje Visual Básic), que realiza las animaciones de los objetos creados para la supervisión del proceso. Además de que algunos de los scripts (lenguaje SQL), sirven para la conexión con la base de datos.

Páginas.- En esta parte se crea todos los elementos necesarios para el control en modo automático, gráfica de estado de la temperatura y una base de datos, que interactúan con los sensores y actuadores para recopilar la información solicitada por los equipos de control.

Los comandos y las páginas creadas son las siguientes:

#### PÁGINA 1: Carátula

Figura 87: Carátula del sistema SCADA



Fuente: Elaboración propia

#### PÁGINA 2: Interface de marcha del proceso en modo automático

Es un estado en el cual produce en forma automática y listo para repetir la producción una y otra vez. Este es el estado más importante ya que ella realiza todas las tareas para el proceso de elaboración de pastas alimenticias y además de que esta página es un medio para poder ingresar a las gráficas sobre la temperatura y a la base de datos.

En concordancia con los pulsadores ya descritos anteriormente para el gabinete eléctrico en esta página se cuenta también con cuatro botones principales:

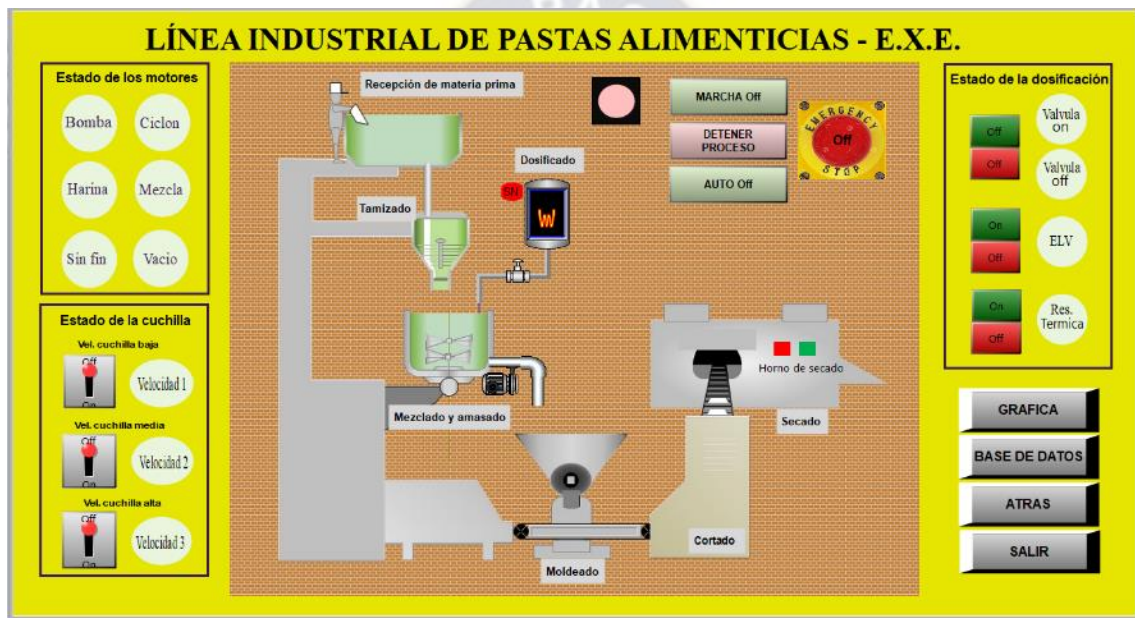
**MARCHA:** Este botón es empleado para iniciar el proceso de producción normal y para reanudar el mismo proceso una vez detenido.

DETENER PROCESO: Este botón es empleado para apagar toda la maquinaria con normalidad una vez ya cumplido con la producción.

EMERGENCIA: Este botón es empleado para detener el proceso inmediatamente, ante una situación de emergencia para evitar accidentes industriales.

AUTO: Este botón es utilizado al momento de ingresar a la página se debe presionar para que el operador controle el proceso de manera automática.

Figura 88: Modo de operación en control automático



Fuente: Elaboración propia

En la parte izquierda hay señalizadores del estado de cada uno de los motores y también de cada una de las velocidades de la cuchilla para ver si están en funcionamiento y para establecer una de las tres velocidades.

En la parte derecha hay señalizadores del estado de la etapa de dosificación y pulsadores para encender esos actuadores (válvula, resistencia, agitador y electroválvula) de manera independiente y bajo el control del operario, en caso de que falte algún ingrediente de esa etapa. También se encuentra los botones para cambiar de página.

En el centro esta toda la representación de la planta, desde la recepción de la materia prima hasta la etapa de secado, la cual este proceso cuenta con tolvas, extrusoras, bombas de succión, tanque de harina y agua, las cuales mediante una secuencia de comandos se generan las animaciones y movimientos de esas representaciones.

Figura 89: Secuencia de comandos del proceso de elaboración de pastas alimenticias

Edición Operadores Control Acciones Funciones Especial

Atributos de ejecución:  
 Nombre de secuencia: Secuencia de comandos  
 Evento: Según intervalo regular  
 Intervalo de tiempo: 50 Milisegundos

Botones: Aceptar, Cancelar, Examinar..., Alias..., Configuraciones...

Código de secuencia de comandos:  
 Secuencia de comandos de VB  Secuencia de comandos de CX-Supervisor  Ajustable

```

if Not PARADA_EMERGENCIA Or E19_F1 Or AUTOMATICO = t
  materia_prima=0
  tamizado=0
  dosificado=0
  mezclado=0
  amasado=0
  moldeado_entrada=0
  moldeado_salida=0
  cortado1=0
  cortado2=0
end if
if E0_F1 Or E0_F4 = true then
  materia_prima=materia_prima+1
end if
if SALIDA_BOMBA = true then
  tamizado=tamizado+1
  materia_prima=materia_prima-1
end if
if SALIDA_BOMBA = false then
  tamizado=tamizado-1
end if
if ELECTROVALVULA = true then
  dosificado=dosificado+1
end if
if VAL_APERTURA_ON = true then
  dosificado=dosificado-1
end if
if SALIDA_HARINA = true then
  mezclado=mezclado+1
end if
if SALIDA_HARINA = false then
  mezclado=mezclado-1
end if
if SALIDA_MEZCLADORA = true then
  amasado=amasado+1
end if
if SALIDA_SIN_FIN = true then
  moldeado_entrada=moldeado_entrada+1
end if
if SALIDA_SIN_FIN = false then
  moldeado_entrada=moldeado_entrada-1
end if
if SALIDA_VACIO =true then
  moldeado_salida=moldeado_salida+1
end if
if M0 = true then
  cortado1=cortado1+1
  cortado2=cortado2+1
end if
  
```

Botones de lógica: if, Then, Else, End If, And, Or, Not, >, >=, <, <=, =, \*, +, Mod, /, -, =

Fuente: Elaboración propia

En la primera parte del código se pone las condiciones iniciales de los objetos animados, también se crea los nombres con los que se empezó a programar todo lo que se visualizará cuando esté en marcha el proceso.

### PÁGINA 3: Registros mediante gráfica de tendencia de la temperatura

Figura 90: Gráfico de tendencia para el registro de la temperatura



Fuente: Elaboración propia

En este estado, se pueden observar y graficar los parámetros de funcionamiento de la temperatura registrados desde el encendido del equipo.

Los datos proporcionados por la gráfica se trazan en función de la temperatura en intervalos de tiempo que pueden ser definidos por el administrador. Además de contar con textos de visualización para la temperatura del líquido (color de fondo rojo) y otro para dar una temperatura límite para el proceso (color de fondo azul).



PÁGINA 4: Registros de la temperatura almacenados en una base de datos

Figura 91: Interfaz de la base de datos en el sistema SCADA

HORA ATUAL: 12:12:03  
FECHA ACTUAL : 10/12/2020

### REGISTRO DE DATOS DE LA TEMPERATURA DEL PROCESO

ID	HORA	FECHA	TEMPERATURA [ ° C ]
40	12:10:49	10/12/2020	10
41	12:11:03	10/12/2020	9
42	12:11:06	10/12/2020	9
43	12:11:26	10/12/2020	13
44	12:11:37	10/12/2020	14
45	12:11:48	10/12/2020	15

ID : 46  
TEMPERATURA: 15 °C  
REGISTRO ACTUAL : 40  
NÚMERO REGISTROS : 45

◀ ◁ ▷ ▶

ANTERIOR SIGUIENTE

AGREGAR EXPORTAR ELIMINAR

SALIR ATRAS

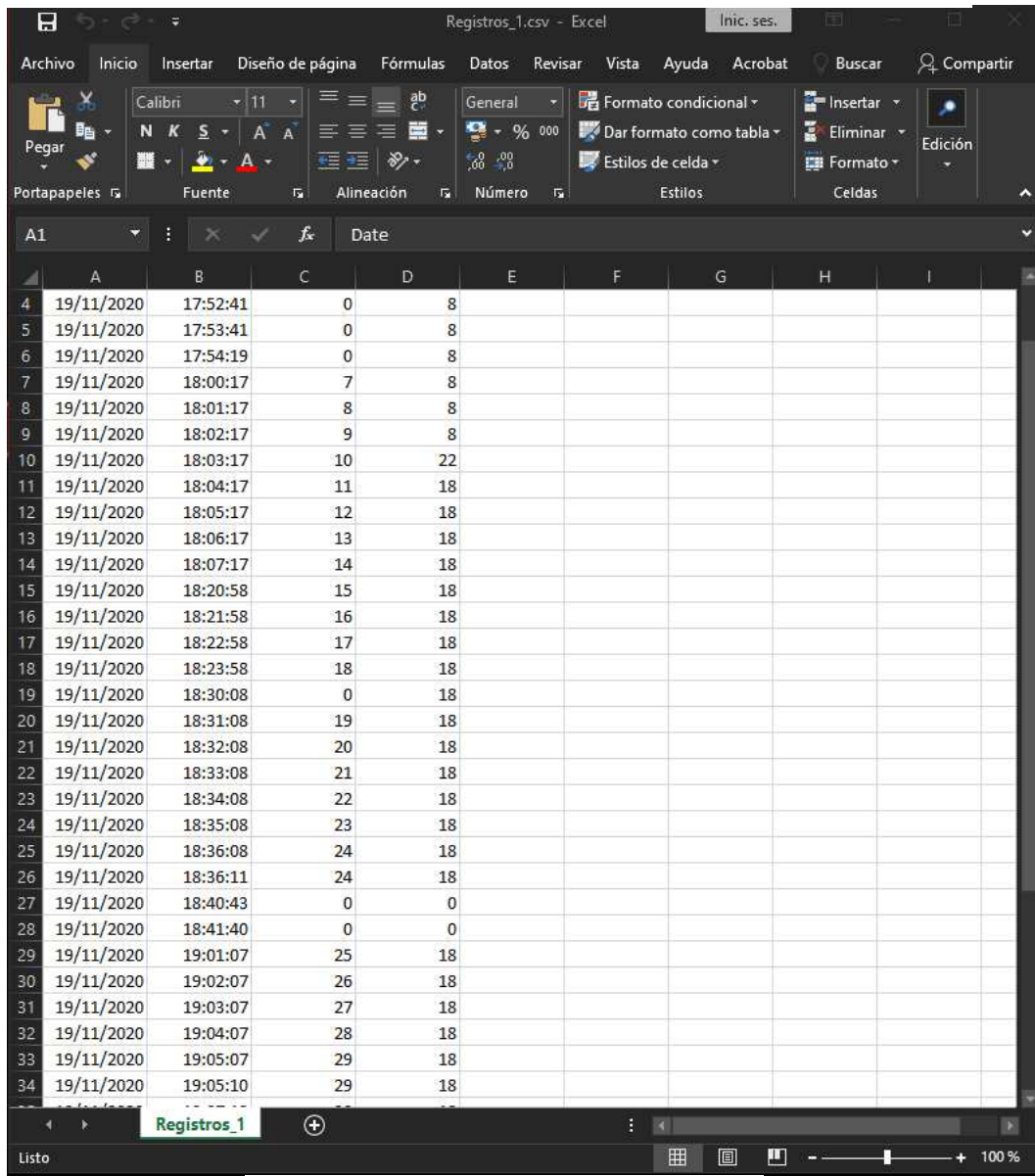
Fuente: Elaboración propia

En este se pueden observar los parámetros de funcionamiento de la temperatura de la máquina de cualquier día, que se encuentre almacenado en la base de datos.

Se observa en el extremo superior izquierdo la hora y fecha actuales, en el centro se observa una tabla de datos (hora, fecha y temperatura) registrados de forma continua desde el instante en el cual comienza con el proceso de elaboración de pastas alimenticias, teniendo opción de ver registros anteriores o posteriores, de acuerdo al requerimiento del usuario y al extremo derecho se presentan los valores actuales de la temperatura que se almacenarán en la base de datos.

En la parte inferior izquierda se presenta tres botones, el primero sirve para agregar un registro de forma manual a la base de datos con tan solo presionarlo, el segundo exporta toda la información de la base de datos a una planilla de Excel y el tercero elimina el ultimo registro añadido a la base de datos.

Figura 92: Archivo Excel exportado



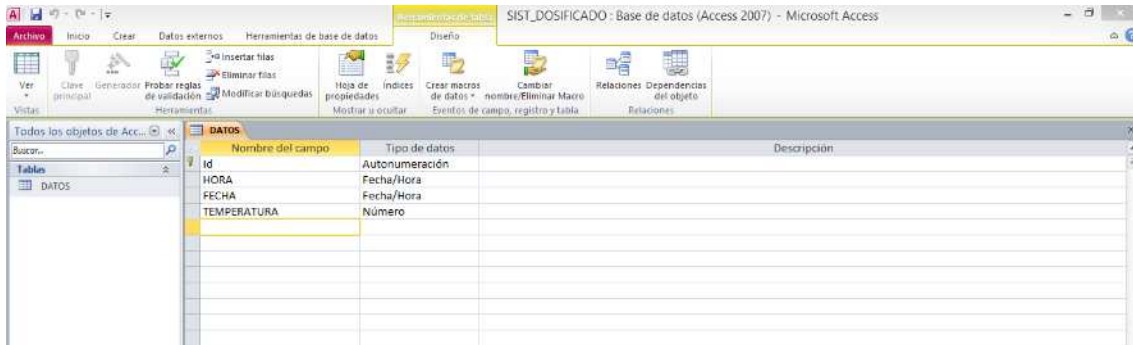
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4	19/11/2020	17:52:41	0	8					
5	19/11/2020	17:53:41	0	8					
6	19/11/2020	17:54:19	0	8					
7	19/11/2020	18:00:17	7	8					
8	19/11/2020	18:01:17	8	8					
9	19/11/2020	18:02:17	9	8					
10	19/11/2020	18:03:17	10	22					
11	19/11/2020	18:04:17	11	18					
12	19/11/2020	18:05:17	12	18					
13	19/11/2020	18:06:17	13	18					
14	19/11/2020	18:07:17	14	18					
15	19/11/2020	18:20:58	15	18					
16	19/11/2020	18:21:58	16	18					
17	19/11/2020	18:22:58	17	18					
18	19/11/2020	18:23:58	18	18					
19	19/11/2020	18:30:08	0	18					
20	19/11/2020	18:31:08	19	18					
21	19/11/2020	18:32:08	20	18					
22	19/11/2020	18:33:08	21	18					
23	19/11/2020	18:34:08	22	18					
24	19/11/2020	18:35:08	23	18					
25	19/11/2020	18:36:08	24	18					
26	19/11/2020	18:36:11	24	18					
27	19/11/2020	18:40:43	0	0					
28	19/11/2020	18:41:40	0	0					
29	19/11/2020	19:01:07	25	18					
30	19/11/2020	19:02:07	26	18					
31	19/11/2020	19:03:07	27	18					
32	19/11/2020	19:04:07	28	18					
33	19/11/2020	19:05:07	29	18					
34	19/11/2020	19:05:10	29	18					

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la conexión con el Microsoft ACCESS, para el registro de los datos enviados desde las páginas del CX Supervisor. Esta conexión siguió los siguientes pasos:

Creación de la base de datos, en el cual se incluyen la tabla y los campos.

Figura 93: Base de datos ACCESS

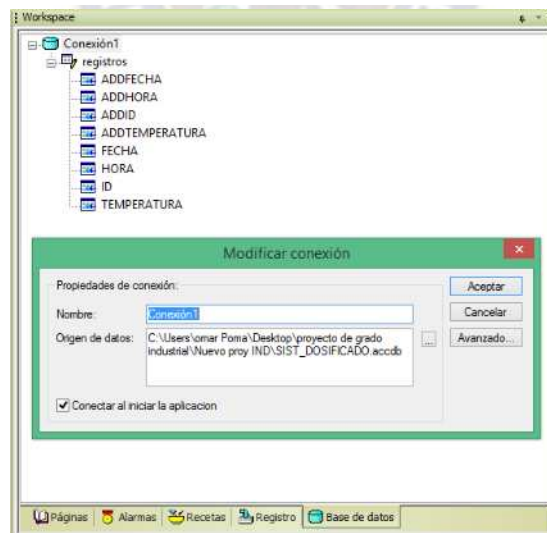


Fuente: Elaboración propia

El nombre de la base de datos creado tiene por nombre “SIST\_DOSIFICADO”, la tabla que presenta tiene por nombre “DATOS” y los campos creados dentro de la tabla son: “ID”, “HORA”, “FECHA” y “TEMPERATURA”.

Dentro del área de trabajo del software CX Supervisor, se creó la conexión que ejecutará una serie de comandos que llevará a la ruta donde se guardó la base de datos.

Figura 94: Conexión con CX supervisor

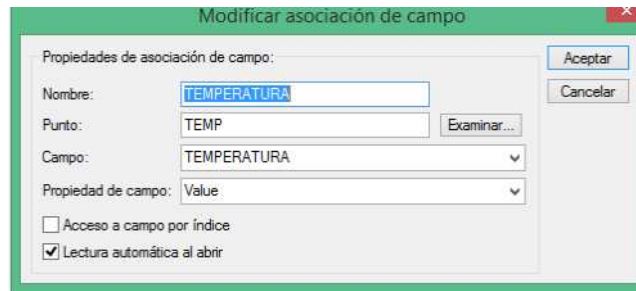


Fuente: Elaboración propia

Una vez conectado se crearon los mismos campos de la base de datos de este software.



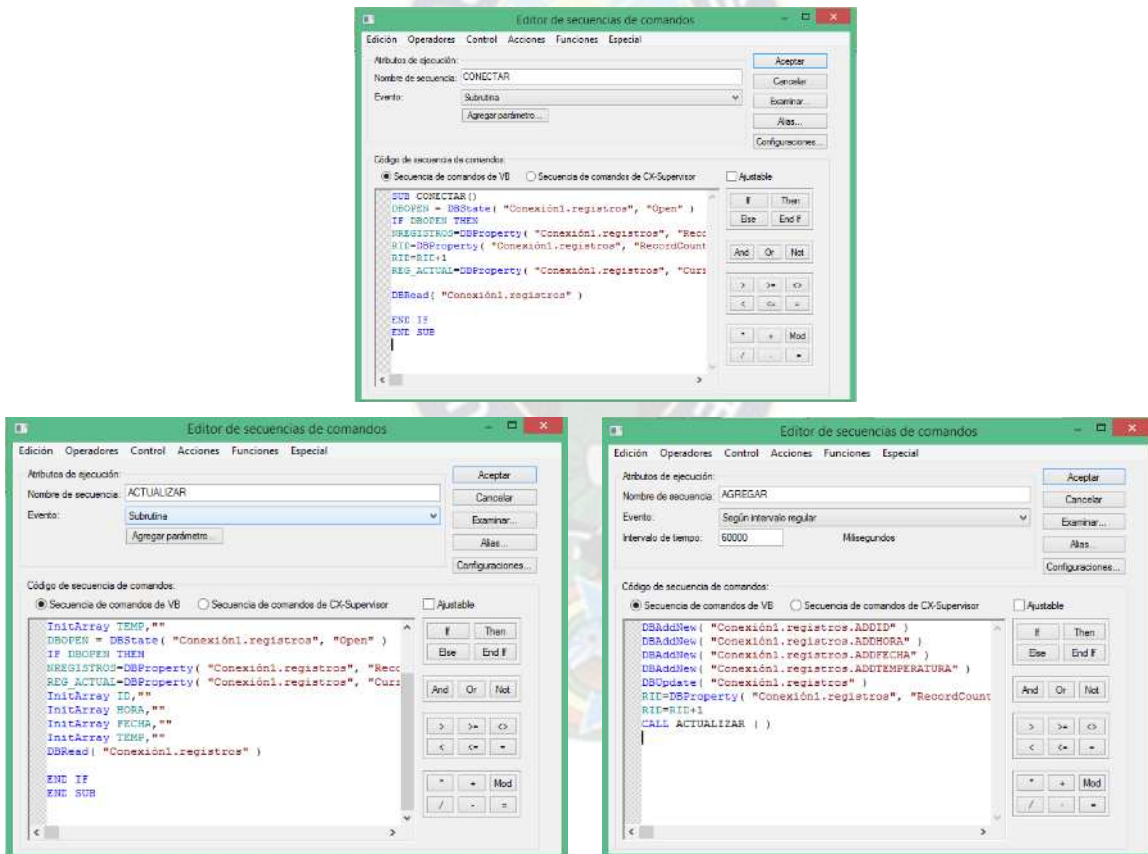
Figura 95: Campos del sistema para la base de datos



Fuente: Elaboración propia

Se procede a ejecutar las siguientes líneas de comando, para validar el registro de datos.

Figura 96: Comandos para el registro de datos



Fuente: Elaboración propia

Concluido todo esto se puede ver ya realizada la conexión y el registro de datos en el software CX Supervisor, una vez iniciado el proceso.

## 4.7. Configuración de los elementos de comunicación

Uno de los elementos de comunicación utilizados es un router de la marca Mikrotik que para su configuración se utilizó el software WinBox, el cual se lo puede conseguir en la página oficial [www.mikrotik.com](http://www.mikrotik.com).

Figura 97: Página oficial de internet de Mikrotik



Fuente: Elaboración propia

La otra opción es directamente del router Mikrotik.

Se abre el navegador de internet, puede ser Chrome o Firefox y escribir la dirección IP del router Mikrotik. Se mostrará la página de bienvenida RouterOS y por último se debe hacer clic en el enlace para descargar winbox.exe.

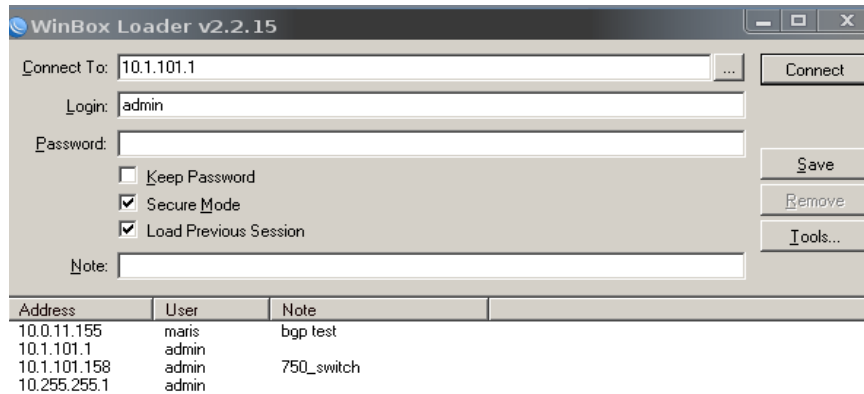
Figura 98: Descarga del software WinBox



Fuente: Elaboración propia

Para conectarse al Mikrotik se tienen dos opciones: bien puede introducir la dirección IP del Mikrotik o también la MAC del mismo, especifique nombre de usuario y contraseña (si lo hay, en caso que es un equipo nuevo no tiene contraseña por lo que tiene que dejarlo en blanco) y haga clic en el botón Conectar.

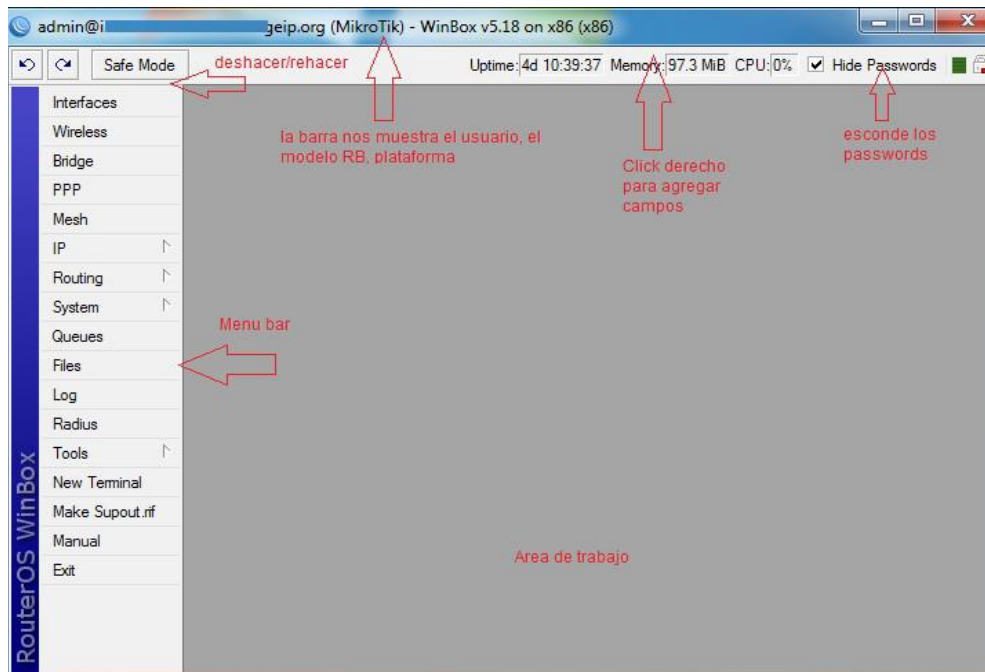
Figura 99: Terminal de ingreso a WinBox



Fuente: Elaboración propia

Una vez entrado al entorno del WinBox podemos observar:

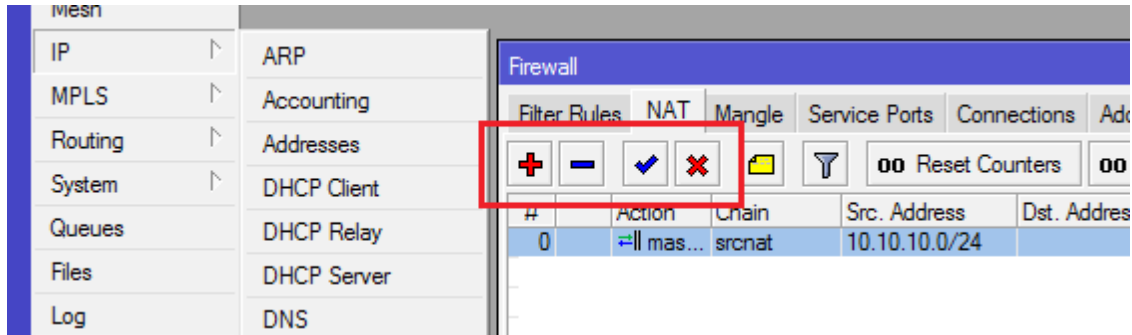
Figura 100: Área de trabajo de WinBox



Fuente: Elaboración propia

Cada ventana secundaria tiene su propia barra de herramientas, la mayoría tienen el mismo conjunto de botones de la barra de herramientas:

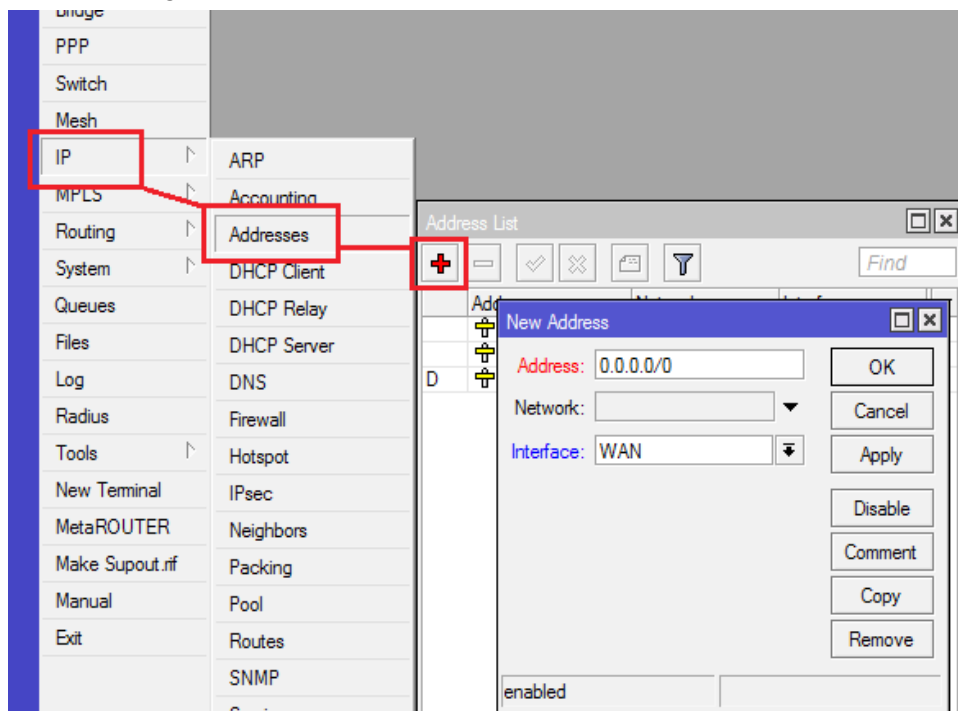
Figura 101: Barra de herramientas para la configuración



Fuente: Elaboración propia

Colocaremos las IPs a la red WLAN y a la red LAN, para ello entraremos a IP y después a Address:

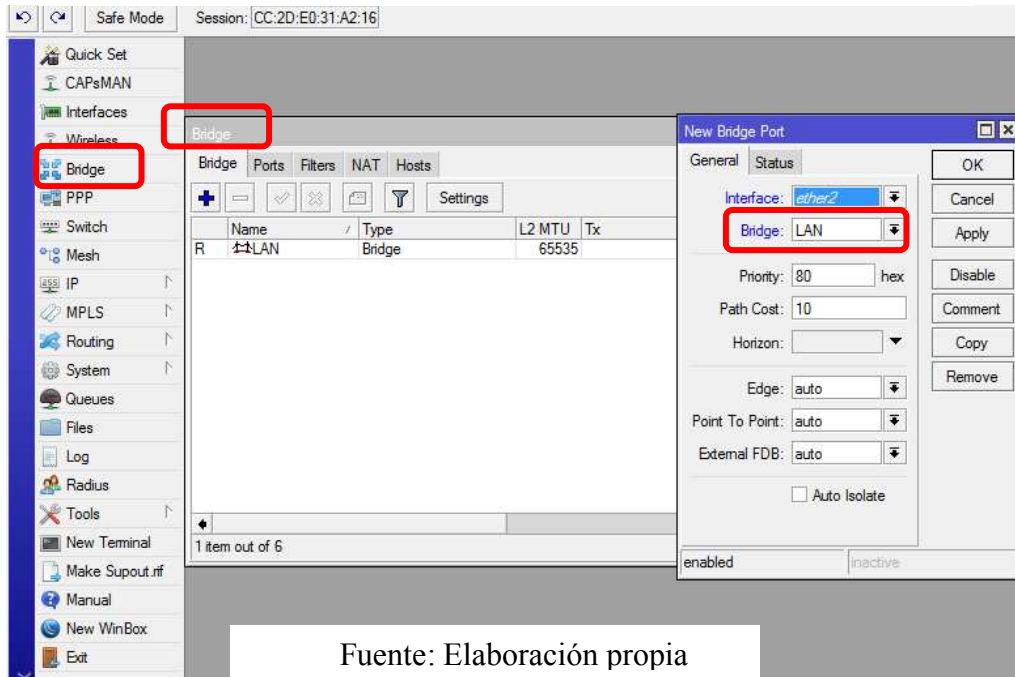
Figura 102: Direccionamiento IP sistema de red



Fuente: Elaboración propia

Una vez asignado la dirección IP al Router, creamos un Bridge (realizar unión de interfaces) para conectar los equipos necesarios a la red LAN del proyecto.

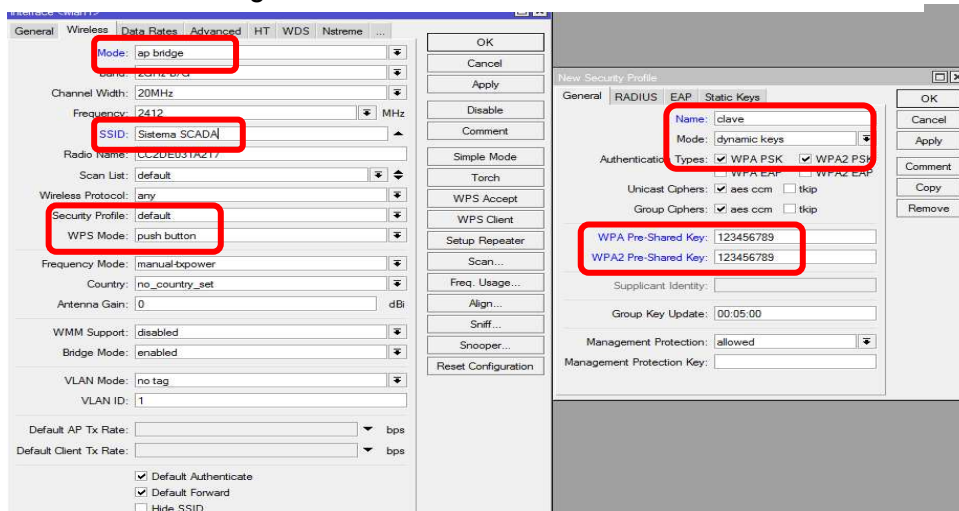
Figura 103: Creación de Bridging de las interfaces



Fuente: Elaboración propia

Vemos como se interconectan las interfaces del router con la función Bridge. Así podremos conectar todo el equipo del proyecto a una interface del router, ya sea alámbrica e inalámbrica. Para unir la interface inalámbrica al Bridge lo configuramos en modo AP para que nuestros equipos puedan conectarse a nuestra red LAN creada el cual le daremos un nombre (SSID) y una contraseña.

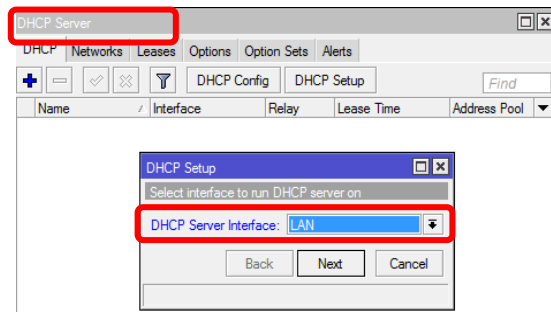
Figura 104: Creación de la red Wi fi



Fuente: Elaboración propia

Con esa configuración ya tenemos todo para administrar nuestra red LAN, para todos los equipos que se conecten a este, se necesita tener un servidor de DHCP SERVER para que suministre direcciones IP de forma automática a todos los equipos que se quieran unir a la red LAN.

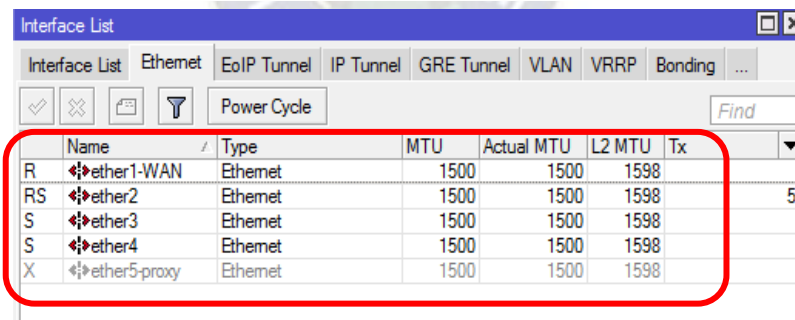
Figura 105: Creación del servidor de DHCP SERVER



Fuente: Elaboración propia

Con esa configuración hecha en el router, está lista para su puesta en operación. Solo quedaría conectar el puerto USB a la PC y de ella al PLC en cualquiera de los puertos del router ya activado.

Figura 106: Lista de interfaces conectadas a la red

The image shows a screenshot of a window titled 'Interface List'. The window has several tabs: 'Interface List', 'Ethernet', 'EoIP Tunnel', 'IP Tunnel', 'GRE Tunnel', 'VLAN', 'VRRP', and 'Bonding'. The 'Interface List' tab is active. Below the tabs, there are several icons and a 'Power Cycle' button. A table is displayed with the following columns: 'Name', 'Type', 'MTU', 'Actual MTU', 'L2 MTU', and 'Tx'. The table contains five rows of data, all of which are highlighted with a red border.

Name	Type	MTU	Actual MTU	L2 MTU	Tx
R ether1-WAN	Ethernet	1500	1500	1598	
RS ether2	Ethernet	1500	1500	1598	51
S ether3	Ethernet	1500	1500	1598	
S ether4	Ethernet	1500	1500	1598	
X ether5-proxy	Ethernet	1500	1500	1598	

Fuente: Elaboración propia

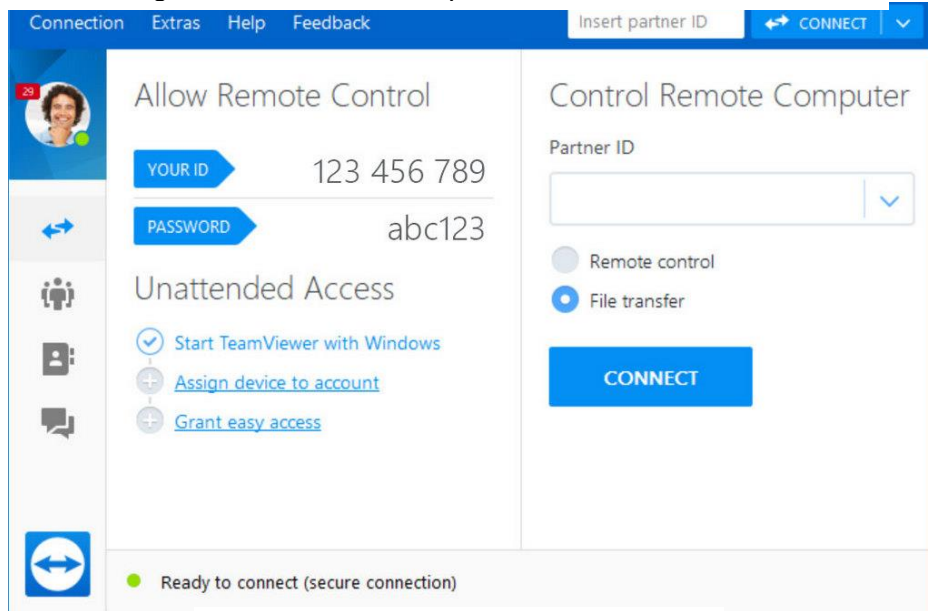
El segundo elemento de comunicación es la habilitación del puerto 5938 TCP/UDP para el control en acceso remoto, que es el principal puerto que utiliza TeamViewer para tener un mejor rendimiento.

Todos los servidores de TeamViewer están alojados en centros de datos que cumplen con la norma ISO 27001 y hacen uso de conexiones multi redundantes. Incluyen protección de datos



de la matriz RAID, reflejo de bases de datos, copia de seguridad de datos, alta disponibilidad en el servidor de almacenamiento y sistemas de enrutamiento con mecanismos de recuperación ante desastres y procedimientos para garantizar un servicio continuo.

Figura 107: Interfaz de operación TeamViewer



Fuente: Elaboración propia

El tráfico de TeamViewer se protege mediante el intercambio de claves públicas y privadas RSA y el cifrado de sesión AES (256 bits). Esta tecnología se utiliza de forma similar que en https/SSL y está considerada como completamente segura por los estándares actuales.

Dado que la clave privada nunca sale del equipo cliente, este procedimiento garantiza que los equipos interconectados, incluidos los servidores de enrutamiento de TeamViewer, no pueden descifrar el flujo de datos.

Para poder ingresar a una PC de forma remota solo se debe compartir el registro ID y la clave publica al operador que ingresará en otro lugar. Es de esta forma que se logrará tener el acceso al sistema de supervisión para el proceso de elaboración de pastas alimenticias en cualquier parte del mundo.



#### 4.8. Seguridad en el sistema de supervisión

La integración de todos los componentes de fabricación con conexión a la red de oficina o industrial adquiere cada vez mayor importancia, el creciente uso de mecanismos informáticos como servidores web y correo electrónico en PLC, así como el uso de redes inalámbricas.

En consecuencia, la comunicación industrial está ligada cada vez más con el mundo informático y se ve expuesta a los mismos riesgos que se conocen del entorno de oficina e informático, como ser:

- ❖ El malware o software malicioso es una categoría de software diseñado para infiltrarse y dañar un sistema de información sin ser detectado.
- ❖ Ataque DDoS conocido como denegación de servicio distribuida, consiste en el bloqueo al acceso de un sitio web y, en simultáneo, el ataque al servidor mediante el ingreso de un gran volumen de información basura.
- ❖ El phishing es un método usado por los atacantes para suplantar la identidad de un usuario o de una empresa mediante una comunicación electrónica (correo, mensajería instantánea, etc.), con la finalidad de obtener datos personales y bancarios.
- ❖ El baiting consiste en un ataque dirigido a infectar equipos y redes a partir de dispositivos de almacenamiento extraíbles como pen-drives, tarjetas SD o discos duros externos. A través de estos equipos, los atacantes introducen archivos infectados con malwares.

Para evitar los posibles ataques dentro de la red para el sistema de supervisión de pastas alimenticias se realizó tres niveles de seguridad:

- ➔ Seguridad en la red
- ➔ Seguridad en el sistema operativo
- ➔ Seguridad en los equipos industriales

Estos niveles de seguridad ofrecen una solución para la automatización industrial y que cumple con los requisitos del entorno de aplicación ofreciendo:

1. Protección contra espionaje y manipulación de datos.
2. Protección contra direccionamientos erróneos.
3. Acceso remoto seguro a través de Internet.

#### 4.8.1. Seguridad en la red

Como primera línea de seguridad en la red estamos haciendo hardening en el dispositivo de red de comunicación, la cual consiste en:

- Restringir la accesibilidad.- Limitar los puertos, restringir la cantidad de administradores y los métodos de acceso permitidos, proteger el almacenamiento local de los datos sensibles de leer y copiar.

Figura 108: Restricción de accesibilidad

The screenshot displays three configuration windows from a network device:

- User List:** Shows a table of users. A red box highlights the 'admin' user with 'read' permissions. An arrow points to this box with the text 'Administradores permitidos'.
- IP Service List:** Shows a table of services. A red box highlights the 'ssh' service. An arrow points to this box with the text 'Métodos de acceso permitidos'.
- Interface List:** Shows a table of interfaces. A red box highlights the 'ether3' interface, which is marked as 'XS' (disabled). An arrow points to this box with the text 'Puertos desactivados'.

Name	Group	Allowed Addresses	Last Logged In
Dark_omi	full		Nov/15/2020 17:54:22
system default user			
admin	read		Nov/09/2020 22:52:56

Name	Port	Available From	Certificate
api	8728		
api-ssl	8729		none
ftp	21		
ssh	22		
telnet	23		
winbox	8291		
www	80		
www-ssl	443		none

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx	Tx Packet (p/s)	Rx Packet (p/s)	FP Tx
Be As	PPTP Client				0 bps	0 bps	0	0
Hostpot-BR	Bridge	1500	65535		0 bps	0 bps	0	0
LAN	Bridge	1500	1598	82.9 kbps	5.1 kbps	15	7	
ether1-WAN	Ethernet	1500	1598	5.2 kbps	4.6 kbps	7	9	
ether2	Ethernet	1500	1598	84.2 kbps	5.4 kbps	15	7	
ether3	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps	0	0	
ether4	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps	0	0	
ether5omv	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps	0	0	
wlan1	Wireless (Atheros ARS...	1500	1600	0 bps	0 bps	0	0	

Fuente: Elaboración propia

- Logs y cuentas para todos los accesos.- Registros de cualquier persona que tiene acceso a un dispositivo, incluyendo lo que ocurre y cuando.

Figura 109: Registro de todos los usuarios que tienen acceso

The screenshot shows two windows: 'History' and 'Log'. The 'History' window contains a table of user actions:

Time	Action	By	Policy
Dec/12/2020 11:41:29	item added		
Dec/13/2020 17:32:58	user admin changed	omar	write policy
Dec/13/2020 17:38:07	user Dark_omi changed	omar	write policy
Dec/13/2020 17:38:20	user omar changed	omar	write policy
Dec/13/2020 17:38:24	user admin changed	omar	write policy
Dec/13/2020 17:39:51	ip service changed	omar	write
Dec/13/2020 17:40:30	ip service changed	omar	write
Dec/13/2020 17:44:46	device changed	omar	write
Dec/13/2020 17:44:49	device changed	omar	write
Dec/13/2020 17:47:05	device changed	omar	write
Dec/13/2020 17:47:07	device changed	omar	write

The 'Log' window shows a list of system events with columns for Time, Memory, Policy, Info, and Action. The actions include 'terminating...', 'disconnected', 'initializing...', and 'connecting...'. A text box on the left of the screenshot states: 'Se tiene un historial y los logs de todo lo que hacen los usuarios.'

Fuente: Elaboración propia

- Autenticar el acceso.- Asegurar que el acceso se conceda a sólo a los usuarios autenticados, grupos y servicios.

Figura 110: Autenticación de accesos

The screenshot shows the 'WinBox v3.16 (Addresses)' window. It has a 'File' menu and 'Tools' button. The main area contains connection settings:

- Connect To: 192.168.30.1
- Login: darkomi
- Password: [masked]
- Buttons: Add/Set, Connect To RoMON, Connect
- Options:  Keep Password,  Open In New Window

Below the settings are tabs for 'Managed' and 'Neighbors'. The 'Managed' tab is active, showing a table of devices:

MAC Address	IP Address	Identity	Version	Board	Uptime
4C:5E:0C:76:5B:83	192.168.30.1	Mikro Tik	6.40.1 (st...	RB951Ui-2HnD	06:24:07

Fuente: Elaboración propia

Para autenticarse necesitan una dirección IP o una dirección MAC asociado a la lista de acceso de la red.

La lista de acceso se modificó de acuerdo a todo el personal que se conecta a la red, para que solo las direcciones MAC registradas puedan acceder a la red del sistema, todos los demás no podrán acceder a la red, por más que tengan la contraseña del sistema.

Es un método muy efectivo ya que las direcciones MAC son únicas en cada equipo, en EXE se guardará en la lista de acceso a todos los empleados que estén en la empresa. Deshabilitando así la autenticación por defecto para todo equipo que no esté registrado en la lista de acceso de la red del sistema de supervisión.

Figura 111: Lista de acceso a usuarios permitidos para el ingreso

#	MAC Address	Interface	Signal Str...	Authentication	Forwarding
0	58:48:22:B2:56:FB	wlan1	-120..120	yes	yes
1	40:B8:37:B0:E7:01	wlan1	-120..120	yes	yes
2	44:D4:E0:DB:77:2F	wlan1	-120..120	yes	yes
3	24:FD:52:3D:E8:8C	wlan1	-120..120	yes	yes

Fuente: Elaboración propia

Figura 112: Regla de acceso para cada dirección MAC

AP Access Rule <24:FD:52:3D:E8:8C>

MAC Address: 24:FD:52:3D:E8:8C

Interface: wlan1

Signal Strength Range: -120..120

AP Tx Limit: [ ]

Client Tx Limit: [ ]

Authentication

Forwarding

VLAN Mode: default

VLAN ID: 1

Private Key: none

Private Pre Shared Key: [ ]

Management Protection Key: [ ]

Time: [ ]

enabled

Fuente: Elaboración propia

Otra medida de protección que se tomó en cuenta es la instalación de los firewalls para el control de acceso al sistema, para evitar ataques y robos de información.

Un firewall constituye la primera línea de defensa de una red y es empleado para restringir el acceso de una red hasta otra red.

- Resisten ataques
- Son el único punto de tránsito entre las redes (todo el tráfico fluye a través del firewall)
- Evalúa cada paquete que ingresa o que sale de la empresa
- Aplican la política de control de acceso

Figura 113: Firewall de entrada y salida a la red

The image shows two screenshots from Mikrotik WinBox. The top screenshot displays the Firewall Filter Rules configuration window. The bottom screenshot displays the Firewall Tracking window showing active connections.

**Firewall Filter Rules Configuration:**

#	Action	Chain	Src. Address	Dst. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	Bytes	Packets
0	D	jump								0 B	0
1	D	jump								0 B	0
2	D	jump								0 B	0
3	D	drop			6 (tcp)		64872-64...			0 B	0
4	D	jump								0 B	0
5	D	acc...			17 (u...		64872			0 B	0
6	D	acc...			6 (tcp)		64872-64...			0 B	0
7	D	jump								0 B	0
8	D	reject			6 (tcp)					0 B	0
9	D	reject								0 B	0
10	D	reject								0 B	0
11	X	pas...								0 B	0

**Firewall Tracking:**

	Src. Address	Dst. Address	Proto...	Connecti...	Timeout	TCP State	Orig./Repl. Rate	Orig./Repl. Bytes
C	10.5.50.1:36296	255.255.255.255:5678	17 (u...		00:00:08		0 bps/0 bps	131 B/0 B
C	192.168.30.1:35169	255.255.255.255:5678	17 (u...		00:00:08		0 bps/0 bps	134 B/0 B
SACs	192.168.30.101:39188	64.233.186.147:80	6 (tcp)	PRI0 3	17:47:28	established	0 bps/0 bps	321 B/22.0 KB
SACs	192.168.30.101:44592	64.233.186.188:5228	6 (tcp)	PRI0 5	17:42:55	established	0 bps/0 bps	849 B/4136 B
Cs	192.168.30.102:52744	13.227.81.25:443	6 (tcp)	PRI0 3	21:27:54	established	0 bps/0 bps	76 B/0 B
SACs	192.168.30.103:37219	64.233.186.188:5228	6 (tcp)	PRI0 5	23:42:55	established	0 bps/0 bps	4227 B/10.6 KB
Cs	192.168.30.103:39794	172.217.192.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:02:36	established	0 bps/0 bps	532 B/0 B
Cs	192.168.30.103:39946	172.217.192.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	20:49:40	established	0 bps/0 bps	684 B/0 B
Cs	192.168.30.103:39970	172.217.192.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	21:50:02	established	0 bps/0 bps	684 B/0 B
Cs	192.168.30.103:49841	142.250.0.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:30:22	established	0 bps/0 bps	608 B/0 B
Cs	192.168.30.103:55536	64.233.186.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	17:50:18	established	0 bps/0 bps	380 B/0 B
Cs	192.168.30.103:55722	64.233.186.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:02:58	established	0 bps/0 bps	760 B/0 B
Cs	192.168.30.103:55727	64.233.186.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:06:43	established	0 bps/0 bps	750 B/0 B
Cs	192.168.30.103:55728	64.233.186.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:03:11	established	0 bps/0 bps	750 B/0 B
Cs	192.168.30.103:55729	64.233.186.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:03:22	established	0 bps/0 bps	760 B/0 B
Cs	192.168.30.103:55816	64.233.186.95:443	6 (tcp)	PRI0 3	18:38:44	established	0 bps/0 bps	375 B/0 B
SACs	192.168.30.104:47816	74.125.137.188:5228	6 (tcp)	PRI0 5	23:59:05	established	0 bps/0 bps	16.4 KB/146.3 KB
Cs	192.168.30.104:58188	157.240.197.34:443	6 (tcp)	PRI0 3	23:29:31	established	0 bps/0 bps	836 B/0 B

Fuente: Elaboración propia

Lo más importante de los firewalls:

- Prevenir la exposición de hosts y aplicaciones sensibles a usuarios no confiables.
- Filtrar (limpiar) el flujo de protocolos, previniendo la explotación de fallas en los protocolos.
- Bloquear el acceso de datos maliciosos a servidores y clientes.
- Reducir la complejidad de la administración de la seguridad de la red al reducir la mayoría del control de acceso a la red a algunos puntos.
- En los firewalls también podemos restringir el acceso a páginas web o a otros puertos, ocasionando así que el personal de la empresa no pueda navegar con libertad en la nube, protegiendo los datos empresariales en la red.

#### **4.8.2. Seguridad en el sistema operativo**

En el sistema operativo también puede configurarse contraseñas fuertes, además una buena práctica de seguridad es deshabilitar los servicios y puertos que no estén en funcionamiento y que son inseguros para el sistema operativo.

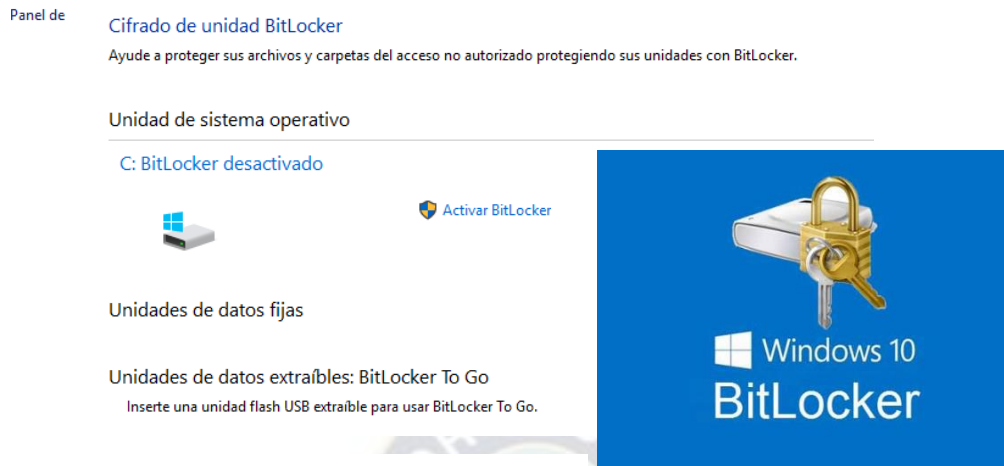
Otra medida de seguridad que se emplea en los sistemas operativos Windows en el cual está instalado el sistema de supervisión, es el cifrado de discos y archivos.

El cifrado de disco es una tecnología que protege la información convirtiéndola en código ilegible que no puede ser descifrado fácilmente por personas sin autorización. El cifrado de disco utiliza un software de encriptación o un hardware de encriptación para cifrar cada bit de información que va en un disco o en volumen de disco, evitando el acceso no autorizado a información almacenada.

El programa BitLocker provee de cifrado de disco y está diseñado para proteger los datos al proporcionar cifrado a volúmenes enteros y utiliza el algoritmo de cifrado estándar AES en modo CBC con una clave de 128 bits.



Figura 114: Cifrado de disco bitlocker

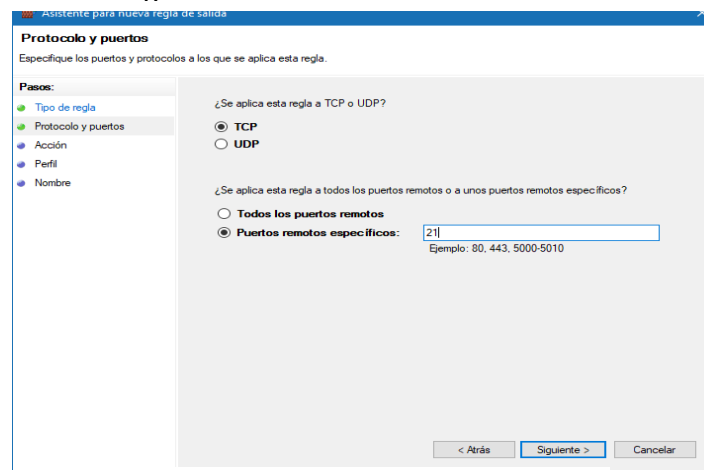


Fuente: Elaboración propia

El firewall de Windows permite proteger el equipo de software malicioso o atacantes que intenten conectarse al equipo del usuario de forma remota, permite además establecer reglas para indicar qué conexiones se deben aceptar y cuáles denegar en caso de que quieran crear excepciones al comportamiento habitual.

En la PC que alberga el sistema de supervisión se creó reglas para que algunos programas no puedan conectarse a internet, en el programa de acceso remoto TeamViewer se bloqueó los accesos por los puertos del servicio FTP (21 y 22), Web (80, 443) en TCP/UDP.

Figura 115: Firewall de Windows



Fuente: Elaboración propia

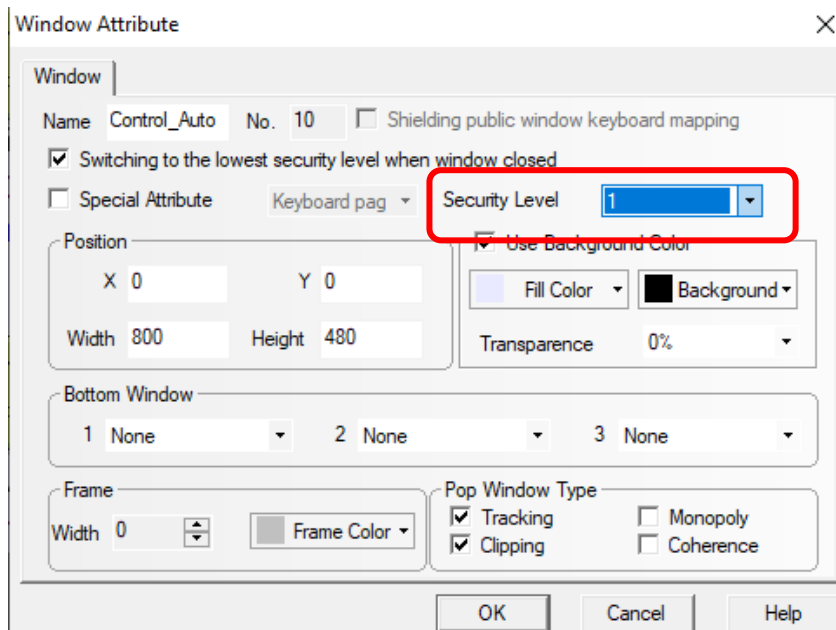


### 4.8.3. Seguridad en los equipos industriales

Como última etapa se implementó la seguridad en los equipos, realizando una administración de usuarios para el acceso del PLC, HMI y del sistema de supervisión, creando así un usuario y una contraseña para el operador.

En la HMI tiene un control de acceso de nivel 1.

Figura 116: Seguridad de acceso en la HMI



Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de supervisión se creó un usuario con contraseña para ingresar a las ventanas, si no se realiza el login no podrá acceder al sistema de ninguna otra manera.

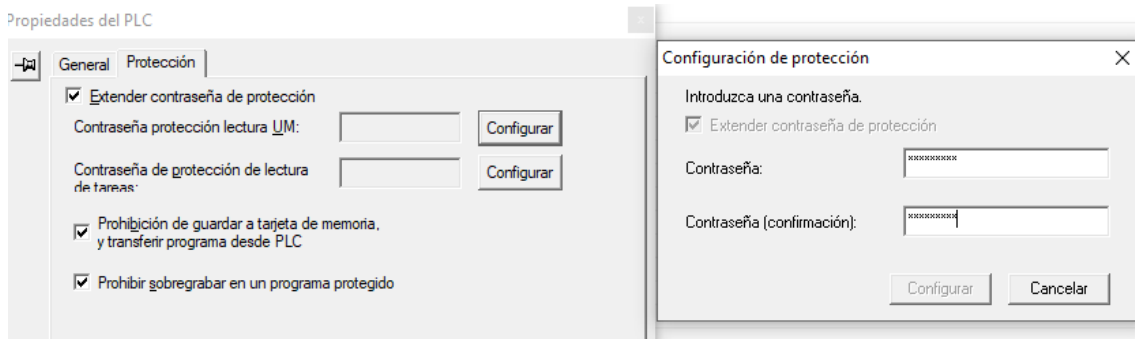
Figura 117: Seguridad de acceso en el SCADA



Fuente: Elaboración propia

Para la seguridad en el PLC, se utilizó la contraseña de protección en la lectura:

Figura 118: Seguridad en el PLC



Aceptable	Buena	Mejor
allwhitecat	a11whitecat	A11whi7ec@t
Fblogin	1FBLogin	1.FB.L0gin\$
amazonpass	AmazonPa55	Am@z0nPa55
ilikemyschool	ILikeMySchool	!Lik3MySch00l
Hightidenow	HighTideNow	H1gh7id3Now

Fuente: Elaboración propia

Al momento de subir el programa en escalera al PLC, también subimos las características de seguridad que configuramos. En la figura anterior estamos protegiendo la descarga y la lectura del programa en el PLC con una contraseña y además en las opciones estamos prohibiendo la transferencia del PLC al computador en caso que la seguridad haya sido vulnerada en el mismo.

Con todas estas configuraciones de seguridad implementadas en todo el sistema, evitamos en una gran medida los ataques más comunes dentro de los sistemas informáticos mejorando así la confidencialidad de la empresa EXE.

## CAPÍTULO V: COSTOS Y BENEFICIOS

### 5.1. Costos del proyecto

Los equipos implementados, para la puesta en marcha del proceso de elaboración de pastas alimenticias, según los requerimientos de EXE son:

Tabla 18: Costos del proyecto

Cantidad	Equipo	Precio
1	PLC Omron CP1L-M40DRD	4.000 BOB
1	Fuente de alimentación 4,5 [A]	450 BOB
1	tarjeta de comunicación RS232	700 BOB
1	Pantalla HMI Kinco	2.100 BOB
1	Variador de frecuencia CFW100	1.250 BOB
1	Modulo USB para softPLC	600 BOB
1	Breaker de 50 [A]	320 BOB
6	Relés de interface 5 [A] 4C.AUX NA/NC	420 BOB
3	Relés de interface 10 [A] 2C.AUX NA/NC	100 BOB
10	Pilotos color Azul	130 BOB
1	Bornera 4 filas 100 [A]	250 BOB
2	Térmicos 6 [A], 10 [A]	120 BOB
1	Válvula servo controlada 220 [V]	550 BOB
1	Sensor de temperatura FG6010	600 BOB
6	Pulsadores	120 BOB
	<b>Costo total proyecto</b>	<b>11.710 BOB</b>

Fuente: Elaboración propia

Los equipos descritos son la mejor opción encontrada en el mercado debido a su bajo precio y a las grandes características que presentan los mismos.

No se incluyó los precios de los equipos industriales que nos proporcionó la empresa EXE, como el tablero eléctrico, algunos pulsadores, contactores, relés térmicos, cable ductos y los cables eléctricos para armar el sistema eléctrico.

## 5.2. Beneficios

En cuanto a los beneficios además de los precios bajos, los equipos industriales seleccionados como PLC, HMI y variador de frecuencia, cuentan con softwares de programación gratuitos hasta un 90% de todas las configuraciones del programa.

Los equipos industriales seleccionados son de fácil instalación ya que cuentan con rieles DIN para su conexión, cuentan con manuales de instalación, programación y de funcionamiento para los tres equipos mencionados.

El principal beneficio que obtendrá la empresa EXE es un sistema automatizado para controlar de forma segura el proceso de elaboración de pastas alimenticias, gracias al gabinete de control que aísla al operador del contacto con grandes cantidades de corriente al ser el gabinete eléctrico de tipo pupitre.

Además de que se podrá controlar la planta con un sistema informático, ya sea en la misma empresa o desde otra parte del mundo, siempre y cuando haya personal en la empresa para preparar la etapa inicial del proceso.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

El desarrollo del sistema de supervisión ofrece un ambiente completo para el control de operación en la planta, donde el operador puede visualizar e interactuar con el proceso, ya sea de manera local o remota desde el acceso de otro computador y controlar todas las funciones del sistema creado.

Para la implementación del sistema de supervisión, se realizó la construcción de un gabinete eléctrico en el cual se montó los elementos seleccionados para el control y operación del proceso, instalando correctamente los actuadores que maneja el sistema e interactuando de manera óptima y segura.

Los programas CX-programmer, CX-supervisor, HMIware y el WLP propios de los equipos industriales, son gratuitos en un 90% para todas sus funciones y no necesitan de una licencia. La elección de estos dispositivos fue vital para el desarrollo del proyecto, porque no se tuvieron gastos extras ni limitaciones de los programas.

Dentro del sistema de comunicación, el uso del router Mikrotik fue de gran importancia debido a su amigable interfaz de configuración y a su software gratuito. Este equipo facilitó la interconexión del sistema eléctrico con el sistema de supervisión con la creación de la red LAN y por el medio donde se accederá el acceso remoto al sistema.

A fin de cuidar la información enviada del proceso al usuario se creó ciertos niveles de seguridad, que empiezan desde la red hasta los equipos individuales. La primera línea de defensa se creó en el router ya que este es la frontera hacia el internet y si por algún motivo rompen la seguridad en la frontera se implementó otra capa de seguridad en el sistema operativo y al final la seguridad con contraseña en los equipos industriales para supervisar la conexión del usuario en EXE.

Se conectó con éxito la base de datos ACCESS con el software CX Supervisor, teniendo como resultado un registro histórico constante de la temperatura, cumpliendo así los requerimientos esenciales para la elaboración de un sistema de supervisión.

Se probó el sistema de supervisión, gabinete eléctrico y la planta de forma local, el usuario realizará el control estando cerca del proceso y de forma remota desde su oficina. Para esto fue de mucha importancia contar con conocimientos tecnológicos en el diseño y control industrial, programación, mecánica, electricidad e instrumentación.

Se escogió el PLC de la marca OMRON debido a la capacidad integrada de entradas analógicas y la interfaz de programación amigable que tiene, sin duda alguna es el mejor respecto al precio del mismo con características completas para el proceso. Los demás equipos fueron escogidos de manera óptima, viendo cada una de sus características para el mejor rendimiento en el proceso de elaboración de pastas alimenticias.

La guía GEMMA fue de gran ayuda en la programación del PLC, gracias a esto se pudo lograr construir un programa estructurado y ordenado en lenguaje escalera, así como tener conocimiento en el lenguaje de programación Visual Basic ayudó a crear los scripts de animación en el sistema de supervisión.

Para la construcción del gabinete eléctrico se basó en guías encontradas en internet e imágenes de tableros construidos, ya que en el país no se tiene una norma específica para la construcción de estos.

Dentro del funcionamiento automático del proceso se vio la manera más eficiente para el arranque directo de cada motor, el cual consiste en el accionamiento de cada uno de ellos con un cierto tiempo entre un motor a otro para no ocasionar caídas de tensión en la red eléctrica. En la empresa EXE se logró incorporar dentro de sus procesos un sistema de automatización, que le ayudará a reducir sus costos por la mano de obra y minimizar las pérdidas de productos, adquiriendo así un mejor manejo del proceso de elaboración de pastas alimenticias al ser controlado con tecnología moderna de control.

## 6.2. Recomendaciones

Para una mayor protección en los motores trifásicos, es necesario sustituir los relés térmicos y en su lugar conectar una serie de guardamotors, teniendo así una conexión contactor – guardamotor el cual protegerá al motor de la corriente eléctrica por si alcanza un valor peligroso.

Dentro del funcionamiento del proceso en modo manual es recomendable no encender todos los motores al mismo tiempo, ya que ocasionaría una caída de tensión en la red eléctrica.

Si se desea evitar el pico de corriente alcanzado por cada motor en su arranque, se recomienda instalar arrancadores suaves, este equipo de alta eficacia no generará los picos de corriente y también protegerá al motor de sobrecargas, pero estos equipos tienen un costo elevado dependiendo de la corriente nominal de los motores.

Realizar mantenimiento preventivo del gabinete eléctrico cada tres meses, ajustando los pernos de los equipos industriales, ventilando el gabinete para sacar el polvo acumulado y aplicar un limpiador de contactos en cada uno de los terminales.

Para lograr un mejor mantenimiento del sistema de control se recomienda poner etiquetas de identificación a los cables de entrada y salidas del controlador, variador de frecuencia, transmisor de temperatura, relés de interface, contactores, pilotos y botoneras de mando. Esto para saber el conexionado de cada uno de los equipos que componen el sistema de control.



## Glosario de términos

**AES:** Advanced Encryption Standard, estándar criptográfico de cifrado

**API:** *Application Programming Interface*, Interfaz de Programación de Aplicaciones

**AWG:** *American Wire Gauge*, Calibre de Alambre Estadounidense

**BUS:** Canal de transmisión digital, tranfiere datos entre los componentes

**CPU:** Unidad centra de proceso

**DCS:** *Distributed Control System*, Sistema de Control Distribuido

**ERP:** *Enterprise Resource Planning*, Planificación de Recursos Empresariales

**E/S:** Entradas y salidas

**EXE:** Excelencia empresarial en industria y mecánica

**HMI:** *Human Machine Interface*, Interface Humano – Maquina

**IEEE:** Insitute of Electrical and Electronics Engineers, instituto de ingeneros electricos y electronicos

**IED:** *Intelligent Electronic Device*, Dispositivo Electrónico Inteligente

**ISO:** International Organization for Standardization, Organización internacional de estandarización.

**LAN:** *Local Area Network*, Red de Área Local

**MAN:** Metropolitan Area Network, Red de Área Metropolitana

**MMI:** *Man Machine Interface*, Interface Hombre – Máquina

**NC:** *Normally Closed*, Normalmente Cerrado

**NO:** *Normally Open*, Normalmente Abierto

**OSI:** Open System Interconnection, Interconexión de sistemas abiertos

**PC:** *Personal Computer*, Computadora Personal

**PLC:** *Programmable Logic Controller*, Controlador Lógico Programable

**RS232:** Norma para el intercambio de datos binarios.

**RS485:** Estándar de comunicación usado en aplicaciones de control y adquisición de datos.

**RSA:** Rivest, Shamir y Adleman, es un sistema criptográfico de clave pública, es el primer y más utilizado algoritmo de este tipo y es válido tanto para cifrar como para firmar digitalmente.

**SCADA:** *Supervisory Control And Data Acquisition*, Supervisión Control y Adquisición de datos

**SCAN:** Ciclo de trabajo de operacion

**SQL:** *Structured Query Language*, Lenguaje de Consulta Estructurada

**TCP/IP:** *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*, Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet

**UDP:** User Datagram Protocol, Protocolo de datagrama de usuario

**VB:** Visual Basic

**WAN:** *Wide Area Network*, Red de Área Amplia

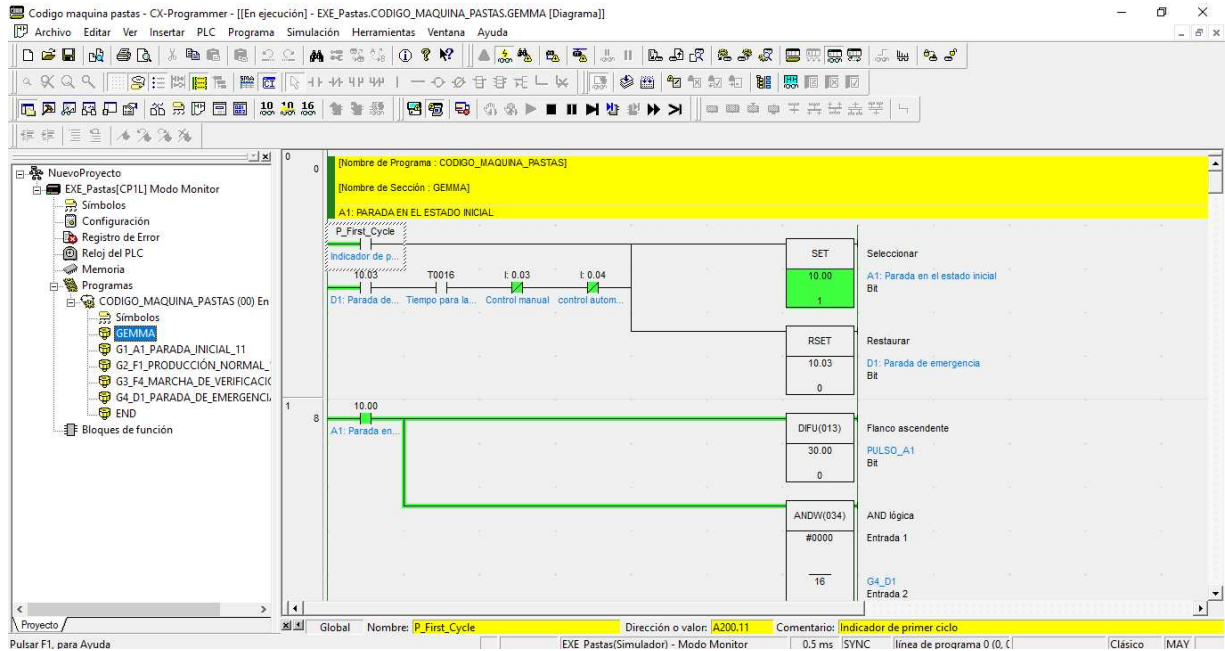
## Bibliografía

- [1] A. V. S. Flores, «Hitos en la historia de la industria Boliviana,» *Obtenido en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-74512015000100006](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-74512015000100006)*, Junio 2018.
- [2] EL DEBER, «Bolivia tiene bajo nivel de automatización en empresas,» *obtenido en: <https://www.eldeber.com.bo/economia/Bolivia-tiene-bajo-nivel-de-automatizacion-en-empresas-20170903-0004.html>*, 2019.
- [3] «Salud ocupacional,» *obtenido en: <https://definicion.de/?s=salud+ocupacional>*, 2019.
- [4] J. Balcells y J. Romeral, AUTÓMATAS PROGRAMABLES, BARCELONA - ESPAÑA: MARCOMBO S.A., 2009.
- [5] M. E. García, AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES, MEXICO: ALFAOMEGA S.A., 2001.
- [6] P. Daneri, PLC AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL, BUENOS AIRES - ARGENTINA : HISPANO AMERICANA S.A., 2008.
- [7] J. Duran, H. Martínez, J. Gámiz, J. Domingo y A. Grau, AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS E INDUSTRIALES, BARCELONA - ESPAÑA: MARCOMBO S.A., 2009.
- [8] A. Cavanilles, PROGRAMACIÓN DE AUTÓMATAS OMRON CJ/CP1, ALICANTE: CEFIRE, 2016.
- [9] V. Gerrero y L. Martínez, COMUNICACIONES INDUSTRIALES, BARCELONA - ESPAÑA: MARCOMBO S.A., 2011.
- [10] T. Maloney, ELECTRÓNICA INDUSTRIAL MODERNA, MEXICO: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [11] P. A. Rodríguez, SISTEMAS SCADA, BARCELONA - ESPAÑA: MARCOMBO S.A., 2013.
- [12] «BASE DE DATOS CX - SUPERVISOR,» 19 junio 1999. [En línea]. Available: [www.infopl.net](http://www.infopl.net).
- [13] J. Rodríguez, «GUÍA GEMMA,» 2009. [En línea]. Available: [www.infopl.net](http://www.infopl.net).
- [14] WEG, «Manual de programación convertidor de frecuencia CFW100,» Brasil, 11/2005.

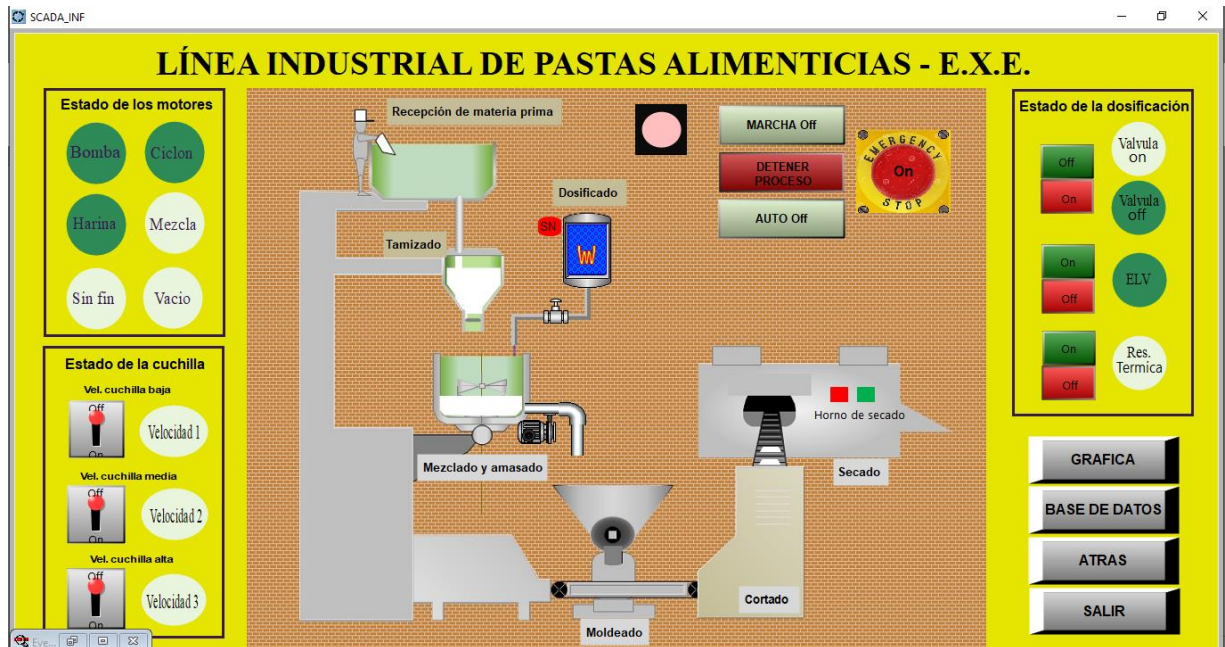
- [15] Kinco HMIware, «Manual de usuario,» Shanghai ltd, China, 2013.
- [16] S. Vega y D. Rodriguez, *METODOLOGÍA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELECTRICAS*, UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR, 2008.
- [17] OMRON, «SCRIPT DE REFERENCIA CX - SUPERVISOR,» 2018. [En línea]. Available: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es).
- [18] OMRON, «GUIA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL,» 2018. [En línea]. Available: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es).
- [19] OMRON, «CX - SUPERVISOR MANUAL DE USUARIO,» 2018. [En línea]. Available: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es).
- [20] Noriega, Sistemas de control, La paz: Marcombo, 2006.
- [21] S. I. G. P. D. S. F. Ebel, FUNDAMENTOS DE LA TECNICA DE AUTOMATIZACIÓN, DENKENDORF - ALEMANIA: FESTO DIDACTIC, 2008.
- [22] J. Cembranos, AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS, NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS, MADRID - ESPAÑA: PARANINFO S.A., 2002.
- [23] C. Cardozo, *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TABLERO DE CONTROL*, UNIVERSIDAD POLITECNICA BOLIVARIANA, 2011.
- [24] WEG, «Guía práctica de Motor Eléctrico,» [www.weg.net](http://www.weg.net), Brasil, 11/2018.
- [25] FG6010, «MANUAL DE OPERACIÓN FG6010,» 2018.
- [26] Chint Electric, «Catalogo de productos Chint Electric,» China, 2015.
- [27] WEG, «Motor trifasico de jaula de ardilla,» 2020. [En línea]. Available: [www.weg.net](http://www.weg.net).

## ANEXOS

ANEXO A: Simulación del programa en escalera del proceso de elaboración de pastas alimenticias.



ANEXO B: Simulación del sistema de supervisión



**Correo electrónico:** [omar.pomal14@gmail.com](mailto:omar.pomal14@gmail.com)

**Teléfono:** 2488292

**Celular:** 74066160