



*“Responsabilidad con pensamiento positivo”*

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y  
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APERTURA DEL RODILLO DE  
UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ALIMENTO ANIMAL DE LA  
EMPRESA PRONACA PUEMBO**

**AUTOR:**

**JOSÉ RAMIRO COLLAGUAZO SORIA**

**TUTOR METODOLÓGICO: Ing. Mauro Fernando Bolagay Egas Mg.**

**TUTOR TÉCNICO: Ing. Millard Escalona H PhD.**

**QUITO, ECUADOR**

**2020**

## **DERECHOS DE AUTENTICIDAD**

Yo, **José Ramiro Collaguazo Soria** alumno de la universidad Tecnológica Israel, declaro que he realizado este trabajo de titulación tomando en consideración citas bibliográficas que se nombran en este texto.

“La Universidad Tecnológica Israel”, puede hacer uso de este trabajo de titulación con una ayuda bibliográfica.

Autor

.....

José Ramiro Collaguazo Soria

C.I. 1718172818

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## APROBACIÓN DEL AUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APERTURA DEL RODILLO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ALIMENTO ANIMAL DE LA EMPRESA PRONACA PUEMBO.**”, presentado por el **Sr. José Ramiro Collaguazo Soria**, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito 14. Febrero del 2020

TUTOR

.....

Ing. Millard Escalona H, PhD.

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## APROBACIÓN DEL AUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APERTURA DEL RODILLO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ALIMENTO ANIMAL DE LA EMPRESA PRONACA PUEMBO.**”, presentado por el **Sr. José Ramiro Collaguazo Soria**, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito 14. Febrero del 2020

TUTOR

.....  
Ing. Mauro Bolagay Egas, Mg.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi proyecto lo dedico con todo mi amor para mi amada esposa Karina Flores por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para nuestro futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor. A mis hijos amados Kevin y Kerly por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor. A mis padres quienes con su palabra de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales. A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos 4 años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento, dedicarle mi trabajo de grado plasmado en el presente informe, a mi esposa Karina Flores por su amor, permanente cariño y comprensión de mis hijos Kevin Collaguazo y Kerly Collaguazo y a mis padres José Collaguazo y Rosa Soria, quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos al inicio de esta larga aventura profesional que ha legado a su fin con resultados obtenidos.

## TABLA DE CONTENIDO

DERECHOS DE AUTENTICIDAD .....	ii
APROBACIÓN DEL AUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL AUTOR.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes .....	1
Planteamiento del problema .....	2
Objetivo general .....	3
Objetivo específico.....	3
Alcance .....	3
CAPÍTULO 1. ....	5
FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	5
1.1 Antecedentes de enseñanza de proceso de molienda .....	5
1.1.1 Molinos de martillo horizontal.....	5
1.1.2 Diseño optimizado de molienda.....	5
1.1.3 Molino de martillos vertical.....	6
1.2 Molino triturador DFZL .....	7
1.2.1 Excelente relación calidad y precio.....	7

1.2.2 Alta flexibilidad .....	8
1.2.3 Diseño estructural.....	8
1.2.4 Importancia del sistema de calibración automático del molino triturador .....	9
1.3 Calidad de alimento triturado .....	9
1.3.1 Granulometría .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.2 Mesh.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.3 Medición de granulometrías.....	10
1.3.4 Equipo para análisis granulométrico.....	11
1.4 Funcionamiento de sistemas automáticos .....	11
1.4.1 Sistemas de control .....	11
1.5 Clasificación de los sistemas de control.....	12
1.5.1 Sistemas de control de lazo abierto.....	12
1.5.2 Sistemas de control de lazo cerrado .....	12
1.6 Sistemas automatizados.....	12
1.6.1 Parte operativa.....	13
1.6.2 Parte de mando.....	13
1.7 Objetivos de automatización .....	13
1.8 PLC (Programmable logic controller).....	14
1.9 Sistemas de control de altas prestaciones (Allen Bradley).....	15
1.10 Lenguajes de programación.....	15
1.10.1 Diagrama de escalera o ladder .....	15
1.10.2 Características principales.....	15
1.10.3 Desventajas del lenguaje ladder .....	16
1.11 Diagrama de bloques funcionales.....	17
1.12 Interfaz de comunicación .....	17

1.13 Ignition .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.14 Mecanismos electromecánico de control .....	18
1.14.1 Mecanismos servomotor .....	18
1.14.2 Actuadores giratorios electricos ermo.....	19
1.14.3 Características principales.....	19
1.14.4 Características técnicas del actuador giratorio ERMO .....	19
1.14.5 Controlador para actuador giratorio .....	20
1.14.6 Módulo de comunicación EtherNet/IP controladores .....	20
1.15 Sensores industriales .....	20
1.15.1 Sensor inductivo.....	21
1.15.2 Sensores de distancia cmos “HG-C1030(-p)” .....	22
1.16 Protocolo de comunicación “IO-link” .....	23
1.16.1 Información técnica para IO-Link.....	23
1.16.2 Funcionamiento IO-link .....	23
1.16.3 Ventajas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.16.4 Puesta en marcha sencilla.....	25
1.16.5 Eficiencia operativa.....	25
1.16.6 Mantenimiento del sistema .....	25
1.16.7 Menos cableado para ahorrar costos de instalación .....	26
CAPÍTULO 2. ....	29
MARCO METODOLÓGICO .....	29
2.1 Metodología de la investigación.....	29
2.2 Método empírico .....	29
2.3 Método de observación científica.....	29
2.3.1 Consciente.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

2.3.2 Planificada.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.3.3 Objetiva.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.4 Método de medición.....	30
2.5 Método experimental.....	31
CAPÍTULO 3. ....	32
PROPUESTA .....	32
3.1 Esquema de producción.....	32
3.2 Descripción de partes importantes del proyecto.....	33
3.3 Propuesta mecánica .....	33
3.3.1 Diseño mecánico .....	33
3.3.2 Acero ANSI 705.....	34
3.3 Propuesta eléctrica.....	36
3.3.1 Arquitectura principal de implementación del proyecto.....	36
3.3.2 Diseño eléctrico.....	36
3.4 Componentes electrónicos designados del proyecto .....	37
3.4.1 Sensor inductivo.....	37
3.4.2 Sensor CMOS distancia .....	37
3.4.3 Maestro IO-link.....	38
3.4.4 Servomotor ERMO 16-ST .....	39
Características de implantación.....	39
3.4.5 Controlador de motor CMMO-ST-C5-1-LKP .....	40
3.4.6 Nodo de comunicación de bus CTEU-EP.....	40
3.5 Componentes del tablero eléctrico .....	40
3.6 Programación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.6.1 Programación ladder .....	41

3.7 Programación gráfica (Ignition) .....	42
3.8 Protocolo de comunicación del proyecto .....	43
3.8.1 Comunicación industrial Ethernet/IP .....	43
3.9 Recepción de comunicación switch Cisco 2960: .....	44
3.10 Impacto positivo del proyecto .....	45
3.10.1 Beneficiarios del proyecto.....	45
3.10.2 Factibilidad económica .....	45
3.10.3 Valoración económica del estudiante.....	45
3.10.4 Propuesta de automatización del proyecto.....	46
3.10.5 Ventajas de la implementación del proyecto .....	47
3.10.6 Eficiencia operativa.....	47
3.10.7 Eficiencia productiva .....	47
3.10.8 Mejor calidad en el producto .....	48
CAPÍTULO 4. ....	49
IMPLEMENTACIÓN .....	49
4.1 Implementación mecánica .....	49
4.1.1 Desmontaje del equipo.....	49
4.2 Implementación eléctrica .....	53
4.2.1 Armado del tablero eléctrico de control:.....	53
4.2.2 Sensores de distancia .....	56
4.2.3 Receptor de señales IO-link. ....	56
4.2.4 Implementación de controladores servomotores Festo .....	57
4.3 Programación de la interfaz gráfica Ignition .....	59
4.4 Programación ladder.....	66
4.5 Valoración de resultados obtenidos en ensayos .....	72

CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES .....	79
REFERENCIAS .....	80
ANEXOS .....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1.1. Molino horizontal.....	6
Figura. 1.2. Molino vertical .....	6
Figura. 1.3. Molino triturador DFZL.....	7
Figura. 1.4. Rodillos de trituración.....	8
Figura. 1.5. Granulometrías de alimento terminado .....	9
Figura. 1.6. Equipos de medición de granulometrías .....	11
Figura. 1.7. PLC Allen Bradley 5000.....	14
Figura. 1.8. Diagrama de escaleras.....	16
Figura. 1.9. Programación software Microllogix .....	16
Figura. 1.10. Diagrama de bloques.....	17
Figura. 1.11. Software Ignition.....	18
Figura. 1.12. Servomotor ERMO 16-ST .....	18
Figura. 1.13. Actuador giratorio ERMO 16-ST .....	19
Figura. 1.14. Controlador de actuador.....	20
Figura. 1.15. Sensor inductivo.....	21
Figura. 1.16. Partes del sensor HG-C1330 .....	22
Figura. 1.17. Diagrama de salidas .....	22
Figura. 1.18. Funcionamiento IO-Link.....	24
Figura. 1.19. Módulo maestro IO-Link .....	24
Figura. 2.1. Capacidad de la línea productiva de molienda.....	30
Figura. 3.1. Flujo grama de producción de la línea de producción .....	32
Figura. 3.2. Diagrama de partes del proyecto.....	33
Figura. 3.3. Plano mecánico volante de control movimiento lineal .....	34
Figura. 3.4. Acero 705 .....	35
Figura. 3.5. Esquema de implementación del proyecto.....	36
Figura. 3.6. Plano eléctrico de implementación .....	37
Figura. 3.7. Aplicación del sensor de medición HG C.....	38
Figura. 3.8. Conexiones sensores - maestro IO-link.....	39

Figura. 3.9. Pantalla inicio software Microllogix.....	42
Figura. 3.10. Software Ignition.....	43
Figura. 3.11. Pantalla interfaz gráfica Ignition.....	43
Figura. 3.12. Tecnología de comunicación Ethernet / IP .....	44
Figura. 3.13. Switch Cisco 2960 .....	44
Figura. 3.14. Red comunicación Pronaca .....	44
Figura. 3.15. Cotización de automatización estudiante .....	46
Figura. 3.16. Rodillos de trituración movimiento lineal .....	47
Figura. 3.17. Producto terminado balanceado .....	48
Figura. 4.1. Implementación y desmontaje del equipo.....	50
Figura. 4.2. Implementación del equipo en piso y mantenimiento.....	50
Figura. 4.3. Implementación y desmontaje de rodillos trituración.....	51
Figura. 4.4. Implementación y desmontaje de volantes antiguos.....	51
Figura. 4.5. Implementación y desmontaje volantes de calibración antiguos .....	52
Figura. 4.6. Implementación mecánica volantes nuevos de control.....	52
Figura. 4.7. Implementación de la fuente alimentación 110V- 24 VDC.....	54
Figura. 4.8. Implementación del tablero eléctrico .....	54
Figura. 4.9. Implementación del maestro IO-link al tablero eléctrico.....	55
Figura. 4.10. Implementación de sensores inductivos.....	55
Figura. 4.11. Implementación del sensor de distancia Panasonic .....	56
Figura. 4.12. Implementación del maestro IO-link .....	57
Figura. 4.13. Implementación de controladores de servomotores Festo .....	57
Figura. 4.14. Implementación de servomotor Festo ERMO .....	58
Figura. 4.15. Implementación del tablero de control eléctrico.....	58
Figura. 4.16. Implementación de la pantalla de inicio software Ignition .....	59
Figura. 4.17. Implementación de la pantalla de ejecución proyectos Ignition .....	60
Figura. 4.18. Implementación de la pantalla de interfaz gráfica Ignition.....	60
Figura. 4.19. Implementación de la pantalla gráfica implementada Ignition .....	61
Figura. 4.20. Implementación de la pantalla de configuración “TAGS” .....	61
Figura. 4.21. Implementación de la pantalla de inicialización “TAGS” .....	62
Figura. 4.22. Implementación del “TAGS” creado .....	62

Figura. 4.23. Implementación de la ventana de iconos de animaciones Ignition.....	63
Figura. 4.24. Implementación de base de datos gráficos de Pronaca "TAGS" .....	63
Figura. 4.25. Implementación de la pantalla graficada del molino triturador .....	64
Figura. 4.26. Implementación de la pantalla para guardar el proyecto .....	64
Figura. 4.27. Implementación de la interfaz gráfica a Ignition .....	65
Figura. 4.28. Implementación de la pantalla de ejecución Ignition.....	65
Figura. 4.29. Implementación de la pantalla de inicio de Microllogix 5000.....	66
Figura. 4.30. Implementación de la pantalla de trabajo Microllogix 5000 .....	66
Figura. 4.31. Implementación de la pantalla de programación escaleras .....	67
Figura. 4.32. Implementación de la pantalla de programación molino triturador .....	67
Figura. 4.33. Implementación de la pantalla comunicación RSlinux.....	68
Figura. 4.34. Implementación de la pantalla de comunicación Microllogix 5000 .....	68
Figura. 4.35. Implementación del icono download Microllogix 5000 .....	69
Figura. 4.36. Implementación de la pantalla de programación Microllogix 5000 .....	70
Figura. 4.37. Implementación de la pantalla de inicio Ignition .....	70
Figura. 4.38. Implementación de la pantalla de la PC Ignition .....	71
Figura. 4.39. Implementación de la pantalla de Ignition molino triturador.....	71
Figura. 4.40. Implementación de la pantalla de alarmas Ignition.....	72
Figura. 4.41. Implementación porcentual de ensayos de trituración .....	74
Figura. 4.42. Implementación de ensayos granulométrico por producto .....	75
Figura. 4.43. Implementación ensayo 1 pollona 1 Pes Gra Re S .....	76
Figura. 4.44. Implementación ensayo 2 pollonas Pes Gra Re S.....	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla. 1.1. Cuadro comparativo de eficiencia entre molinos DFZL .....	8
Tabla. 3.1. Composición química y mecánicas del acero 705.....	35
Tabla. 3.2. Especificaciones técnicas aplicables del servomotor Festo.....	39
Tabla. 3.3. Especificaciones técnicas aplicables del servomotor Festo.....	40
Tabla. 3.4. Elementos eléctricos tablero.....	41
Tabla. 4.1. Implementación de materiales eléctricos.....	53
Tabla. 4.2. Implementación de materiales eléctricos.....	54
Tabla. 4.3. Implementación de ensayos de granulometrías .....	72
Tabla. 4.4. Implementación de resultados de granulometrías .....	75

## RESUMEN

El presente desarrollo e implementación del proyecto de grado, tiene como objetivo principal la automatización de una máquina trituradora de alimento balanceado de consumo animal, la cual funciona con una calibración de manera automática en el eje (z), siendo operado el desplazamiento por los servomotores integrados, existe un rodillo fijo y un rodillo móvil, logrando que el operador pueda calibrar el rodillo triturador de manera precisa con el control digital que se encuentra en la PC de panel de control principal de operación, la calibración se obtiene con el movimiento que es generado por los servomotores que mueve el equipo de manera precisa tomando como referencia la apertura máxima total de 20 ciclos y 2 ciclos de apertura mínima desplazados en el eje de las (z) de manera precisa por vuelta, la obtención de estos movimientos con varias opciones de apertura de acuerdo al requerimiento del producto terminado que se encuentra produciendo, obteniendo procesos productivos garantizados de mejor calidad y generando una variedad de granulometría como: gruesa de 1800 $\mu\text{m}$ , media 1500 $\mu\text{m}$  y fina de 1000 $\mu\text{m}$  en productos que son aceptación por consumidores de alimento balanceado de consumo animal.

**Palabras claves:** Interfaz, PLC, productividad.

## **ABSTRACT**

The present development and implementation of the degree project, has as its main objective the automation of a crushed machine for balanced feed for animal consumption, which works with an automatic calibration on the axis (z), the displacement being operated by the servomotors. integrated, there is a fixed roller and a mobile roller, making it possible for the operator to calibrate the crusher roller precisely with the digital control that is in the main operation control panel PC, calibration is obtained with the movement that is generated by the servomotors that moves the equipment precisely taking as a reference the total maximum opening of 20 cycles and 2 minimum opening cycles displaced in the axis of the (z) precisely by lap, obtaining these movements with several options opening according to the requirement of the finished product that is being made, obtaining product processes Guaranteed assets of better quality and generating a variety of granulometry such as: thickness of 1800 $\mu\text{m}$ , average 1500 $\mu\text{m}$  and fine of 1000 $\mu\text{m}$  in products that are accepted by consumers of balanced feed for animal consumption.

**Keywords:** Interface, PLC, productivity

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

El crecimiento de las empresas molineras se encuentra en margen de mejora continua en sus procesos de molienda, ya que existen máquinas que han desarrollado mejores sistemas de trabajo, la empresa de Suecia Buhler se encuentra en el mercado desde el año 1860; una empresa que ostenta posiciones de líder de mercado en tecnologías y métodos para la transformación del grano en harina y alimentos. Las tecnologías más importantes para la empresa pertenecen a las áreas de ingeniería de procesos mecánicos, el área de ingeniería mecánica es uno de los más importantes ya que emplea recursos científicos, matemáticos que garantizan la eficiencia de las máquinas, los sistemas de calibración para las respectivas granulometrías o texturas en los molinos Buhler son variables de acuerdo a la tecnología con la que trabaja el molino (Bulher, 1974) como por ejemplo:

- Molino horizontal
- Molino vertical
- Molino triturador de rodillos

El molino triturador de rodillos Buhler DFZL es un molino de trituración, con alimentación del producto de manera directa por la parte superior hacia los rodillos de trituración, uno de los grandes beneficios de este molino es la granulometría que se obtiene calibrándose de manera manual a variación de otros molinos que utilizan cribas para variar su granulometrías; este efecto se lo obtiene con la distancia de sus rodillos de trituración (Bulher, 1974).

Se desarrolla un gran beneficio económico debido a que este molino no utiliza cribas molineras para el proceso de molienda, la distancia controlada entre rodillos da como resultado una variedad de granulometrías y texturas.

La ingeniería de diseño aplicada en molinos han venido de manera progresiva su desarrollo, desde el encendido hasta la comunicación que han logrado automatizar el proceso de molienda, Buhler es una de las empresas que ha dejado pendiente la automatización del cambio de criba en los molinos y calibración de rodillos ya que hasta al momento este proceso continua siendo manual en cualquier modelo de sus molinos construidos e instalados por la empresa Buhler (Bulher, 1974).

### **Planteamiento del problema**

La investigación surge como necesidad dentro del área de molienda, donde se necesita una alta eficiencia que ayude a sus procesos productivos, con el cumplimiento de producción, siendo eficiente y automatizada esta área del departamento de producción de la planta Pronaca Pumbo, el operador siempre se pregunta del porque todavía existen procesos manuales para este molino, ya que este invierte tiempo en la calibración manual de los rodillos del molino triturador DFZL de Buhler, el proceso siempre se vuelve repetitivo ya que la producción diaria siempre se tiene una variedad de granulometrías solicitadas para cada producto, lo que ocasiona que el operador realice esta calibración manual, repetitiva de 8 a 9 ocasiones diarias en el proceso, siendo un tiempo muerto que no aporta al proceso productivo, por lo contrario se pierde eficiencia de la máquina ya que esta calibración le lleva al operador un tiempo de 10 minutos llegar a los valores deseados por producción.

El desarrollo de la investigación beneficiaría en gran porcentaje al operador ya que se eliminaría procesos repetitivos por el personal que calibra este equipo de manera manual; tiempo que podría ser utilizado como eficiencia del equipo en la producción de alimento balanceado. El equipo se encuentra actualmente automatizado el encendido y apagado logrando que el equipo trabaje de manera automática en el proceso productivo de la planta Pronaca Pumbo.

## **Objetivo general**

Desarrollar un sistema automático para el control de apertura del rodillo triturador del molino DFZL Buhler en Pronaca Puenbo.

## **Objetivo específico**

- Diseñar la programación para el control automático del rodillo de trituración del molino DFZL en el PLC Allen Bradley principal de la planta.
- Comunicar el controlador de los servomotores con el PLC Allen Bradley para enviar y recibir datos de funcionamiento y confirmación.
- Desarrollar entregables del sistema electromecánico con planos en Auto Cad.
- Implementar el sistema electromecánico en el molino.
- Realizar pruebas de validación y funcionamiento online del sistema de trituración y apertura del molino.

## **Alcance**

La implementación de este proyecto está basada en el control automático del rodillo triturador de molino DFZL mediante servomotores Festo los cuales serán manipulados desde su propio controlador Festo. Estos se encuentran comunicados vía Ethernet/IP al switch principal de la planta, comunicados y controlados vía Ethernet/IP por el PLC Allen Bradley 5000 que pertenece a la automatización general de la planta Pronaca. La programación implementada será la de diagrama de escalera (ladder) que permite una amplia visualización de lo que se está programando y para su operación estarán ligados al sistema de supervisión y datos IGNITION propio de las plantas Pronaca Puenbo.

Este sistema trabaja en 2 modos de operación manual y automático. El modo manual permitirá al operador realizar la respectiva limpieza y la verificación del sistema de circulación de producto con la apertura completa del rodillo de trituración del molino. El modo automático trabajará junto con el sistema productivo con valores de porcentajes ingresados de manera manual por el operador para la obtención de granulometría en los productos terminados, en estas

dos configuraciones se indica el estado de funcionamiento de los diferentes dispositivos como motores, actuadores, sensores etc., mediante la confirmación de encendido. Este sistema contará con alarmas de seguridad y fallos del equipo o del sistema, cada vez que no se cumpla con el desplazamiento lineal solicitado.

Actualmente el molino se encuentra automatizado y controlado desde el monitor principal donde se controla el encendido y apagado del molino triturador DFZL de Bühler. Para la implementación de este proyecto se desea automatizar y controlar el desplazamiento lineal en el eje (z) del rodillo móvil de trituración del molino.

### **Descripción de capítulos**

En el capítulo 1 se detalla toda la fundamentación teórica de sistemas de control, elementos eléctricos y aplicaciones industriales, en sistemas de automatización y control de equipos de molienda de plantas de producción industrial.

En el capítulo 2 se detalla los distintos mecanismos de investigación como son métodos empíricos de observación científica, y métodos de medición que ayudan a resolver problemas de investigación, generando un aporte al investigador.

En el capítulo 3 se plantea una propuesta ideal del trabajo de investigación, en el cual se detalla diseños, cálculos y proyecciones que ayudan al objetivo de investigación que son parte del proyecto en la validación y comprobación de la investigación y resultados que cumplan con el tema de investigación.

En el capítulo 4 se describe de manera clara, definitiva la implementación del proyecto en su totalidad, con las respectivas implementaciones de tableros, diseños de programación e interpretación de datos máquina y operador los elementos eléctricos de control son los que cumplirán la función principal de darle una condición de operación al proyecto de trituración de alimento balanceado en la planta Pronaca Puenbo.



# **CAPÍTULO 1**

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **1.1 Antecedentes de enseñanza de proceso de molienda**

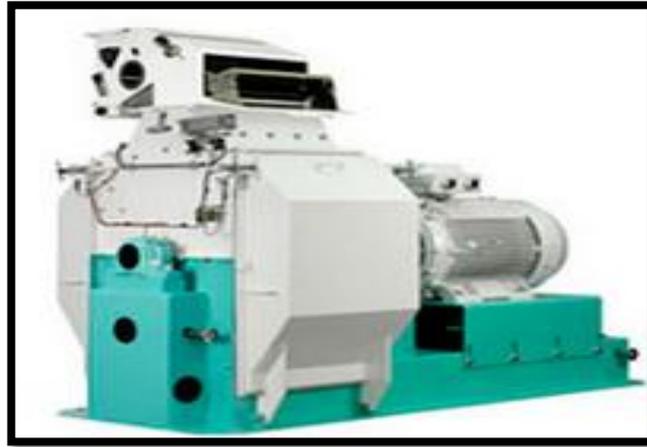
El proceso de molienda es una operación unitaria que, a pesar de aplicar solo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, es de suma importancia en diversos procesos industriales que son aplicados mediante el uso de diferentes tipos de equipos de molienda (Bulher, 1974).

#### **1.1.1 Molinos de martillo horizontal.**

El molino de martillos horizontal puede utilizarse para molienda fina y gruesa en la producción de alimentos balanceados de consumo animal (Bulher, 1974).

#### **1.1.2 Diseño optimizado de molienda.**

El inteligente diseño y velocidad tangencial óptima de los martillos (como muestra en la Figura.1.1) garantiza el máximo contacto del material para una molienda eficaz, con el movimiento acelerado de sus partículas dentro de la cámara de molienda, la principal función es la de romper el grano y salir por los orificios de descarga de la criba del molino, con una velocidad trabaja controlada por el operador, que puede ser alta o baja depende de la calidad de producto que este solicitado para el proceso de molienda.



**Figura. 1.1. Molino horizontal**

Fuente: (Bulher, 1974)

### **1.1.3 Molino de martillos vertical.**

El molino de martillos vertical (Figura. 1.2) se utiliza principalmente en la industria productora de alimentos en los procesos de molienda previa y posterior. Así mismo, también encuentra aplicación en los procesos de molienda que tienen lugar en molinos de harina, de aceite y en otros ámbitos del procesamiento de alimentos (Bulher, 1974).



**Figura. 1.2. Molino vertical**

Fuente: (Bulher, 1974)

## 1.2 Molino triturador DFZL

El molino de trituración rompe el grano, gránulos y cereales, hasta obtener una textura simétrica uniforme. Su compacto diseño modular y las diversas opciones de pares de rodillos corrugados ofrecen una gran flexibilidad y eficiencia molinera (Bulher, 1974).

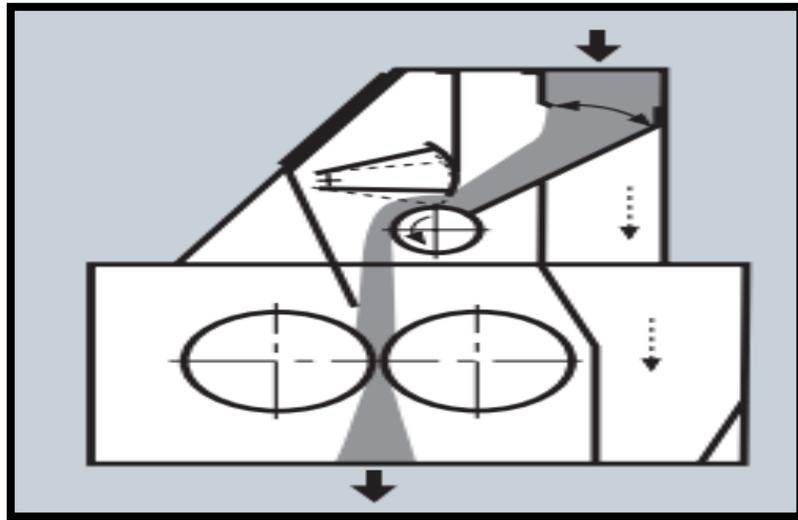


Figura. 1.3. Molino triturador DFZL

Fuente: (Bulher, 1974)

### 1.2.1 Excelente relación calidad y precio

La estructura optimizada del molino triturador de cilindros garantiza un funcionamiento extremadamente rentable y eficiente, el molino triturador, permite alcanzar un alto rendimiento productivo total (Bulher, 1974).

A continuación se observará la diferencia en capacidad productiva de los molinos de rodillos de trituración (como muestra la Tabla 1.1), que aportan con una capacidad variable, de acuerdo a su modelo de fabricación, encontrando una alta excelencia en el modelo del molino DFZL de la compañía (Bulher, 1974).

**Tabla. 1.1. Cuadro comparativo de eficiencia entre molinos DFZL**

Capacidad del molino triturador	
Modelo	capacidad
DFZL 1000	8-25 T/H
DFZL 1500 (PRONACA)	15-40 T/H

Fuente: (Bulher, 1974)

La capacidad del molino DFZL es aceptada por Pronaca, ya que la capacidad máxima de productividad es de 25 Tan hora de eficiencia máxima.

### 1.2.2 Alta flexibilidad

Su estructura modular y un par de rodillos ofrecen una flexibilidad extraordinaria. Además, se puede equipar con un sistema de ajuste manual o automático de la distancia entre rodillos que permite al molino optimizar, tiempo al arranque de sus operaciones como se desea implementar en el presente proyecto de automatización (Bulher, 1974).

### 1.2.3 Diseño estructural

La carcasa de la máquina, de acero soldado, garantiza una alta durabilidad del molino triturador (Figura 1.4). Puesto que los rodillos se pueden re-estriar varias veces y están protegidos con muelles helicoidales contra posibles daños, también pueden disfrutar de una larga vida útil (Bulher, 1974).



**Figura. 1.4. Rodillos de trituración**

Fuente: (Bulher, 1974)

### 1.2.4 Importancia del sistema de calibración automático del molino triturador

- Reducción costos de implementación.
- Reducción tiempo de operación al inicio de producción.
- Reducción de repuestos de molienda.
- Alta durabilidad del equipo.
- Producto terminado de calidad apto para consumo.

## 1.3 Calidad de alimento triturado

### 1.3.1 Granulometría

Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado que se determina por medio de tamices de filtración, método que ayuda al producto a una mejor visualización de los distintos tipos de granulometrías (Figura 1.5) existentes y producidos en la línea de procesos de alimento balanceado.



**Figura. 1.5. Granulometrías de alimento terminado**

Fuente: (Ecured, 2019)

Es la medición de los granos de una forma manual y asignación de tamaños de acuerdo al requerimiento del producto (Ecured, 2018) las granulometrías se pueden clasificar según:

- Granulometría gruesa (>1800  $\mu\text{m}$  Mesh 6)
- Granulometría media (=1500  $\mu\text{m}$  Mesh 3)
- Granulometría fina (< 1000  $\mu\text{m}$  Mesh 2)

### 1.3.2 Mesh

Hace referencia a la distancia y número de agujeros por pulgada en una malla perforada de distinto tipo y aplicación, por lo general se aplica estas mallas perforadas para la filtración y medición de partículas de alimento balanceado.

### 1.3.3 Medición de granulometrías

En esta parte de mediciones se tiene como objetivo principal la obtención de datos de granulometría mediante el ensayo de tamices y la separación de la cantidad de finos que sobran del tamiz para el cálculo de porcentaje de finos del proceso se utiliza la siguiente ecuación.

$$\% \text{FINOS} = \frac{-MR + MG}{MB} \quad (\text{Ecured, 2019})$$

Donde:

MB: masa brutal (total de masa en análisis)

MR: masa resultante (retenida en el tamiz inferior)

MG: masa de gruesos (retenida en tamiz superior)

### 1.3.4 Equipo para análisis granulométrico

Para determinar el tamaño de los alimentos producidos y la longitud de los productos granulados se usan diferentes tipos de mallas o tamices (Figura 1.6), los cuales tienen números distintos de acuerdo al alimento balanceado que se va a hacer pasar por el mismo (Cano, 2013)



Figura. 1.6. Equipos de medición de granulometrías

Fuente: (Ecured, 2019)

## 1.4 Funcionamiento de sistemas automáticos

### 1.4.1 Sistemas de control

Los sistemas de control en la actualidad se muestran en todas las empresas industriales dedicadas a la generación de producción masiva, pueden ser observadas según la teoría de control de automático. (A Shor, 1992) Se puede decir que un sistema de control es un efecto de una acción, para la toma de decisiones, dentro de un sistema o un proceso industrial.

En la investigación de un sistema de control y automatización con administración remota, se mostró los requerimientos de un sistema de control y automatización para la aplicación del manejo automático de riego que controle las variables de su proceso reduciendo el desperdicio de recursos. Este estudio permite demostrar que la optimización de recursos se puede minimizar con la utilización de un PLC de marca Allen Bradley 5000 que servirá para realizar cualquier tipo de automatización que ayude a la productividad de la planta Pronaca.

## **1.5 Clasificación de los sistemas de control**

### **1.5.1 Sistemas de control de lazo abierto**

Son aquellos sistemas que actúan el proceso solo con la señal de entrada que da como resultado una señal de salida independiente (Díaz, 2009) estos sistemas se caracterizan por:

- Sencillos y de fáciles conceptos
- Nada asegura su estabilidad ante perturbaciones.
- La salida no se compara con la entrada.
- Es afectado por las perturbaciones.

### **1.5.2 Sistemas de control de lazo cerrado**

Son sistemas en que la acción del control está en función de las señales de salida sus principales características son:

- Complejos y amplios de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y afecta para el control del sistema.
- Son sistemas que se caracterizan por su sistema de retroalimentación.
- Más estable a perturbaciones y variaciones internas.

Los sistemas de control de lazo cerrado son los más óptimos para la implementación del proyecto de automatización de molino triturador por las diferentes características de las entradas y salidas del sistema de control (Automatización, 2001)

## **1.6 Sistemas automatizados**

Es la transferencia de tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos (Carreto, 2014) que se encargan de ejecutar las tareas (Victor, 2011).

Un sistema automatizado consta de dos principales partes:

### **1.6.1 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 actuadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera etc. (Automatización, 2001).

Los elementos que serán controlados por la parte operativa de la automatización del molino triturador serán servomotores, sensores y controladores (Programables, 2001).

### **1.6.2 Parte de mando**

Son los autómatas programables (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 (Automatización, 2001).

El autómata programable para este proyecto se utilizará el PLC Allen Bradley 5000 de automatización propia de la planta Pronaca Puenbo.

## **1.7 Objetivos de automatización**

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.

## 1.8 PLC “Programmable logic controller”

El PLC “Control Lógico Programable”, se lo puede denominar con el siguiente nombre autómatas programables, en realidad es un hardware de diferentes tamaños dependiendo de su fabricante, que en su interior consta de un *software* para la programación de un proceso industrial, se debe considerar las diferentes variables de entradas y salidas que tiene el sistema estas variables pueden ser temperatura, nivel, analógicas, digitales, actuadores como pistones, motores, válvulas, etc. (Bolton, 2011) .

Un PLC (Figura 1.7) se puede considerar como un computador que ayuda a interactuar al programa con los usuarios de una manera más fácil para lo cual se necesita de lenguajes de programación, en los cuales se debe construir las necesidades del proceso a automatizar. A continuación, se detallan los módulos de cómo se puede conformar un PLC (Bolton, 2011).

- Fuente primaria de alimentación.
- Unidad de procesamiento central (CPU)
- Módulos de entrada y salida.
- Módulos de memorias.
- Unidad de programación.



Figura. 1.7. PLC Allen Bradley 5000

## **1.9 Sistemas de control de altas prestaciones (Allen Bradley)**

Son sistemas de control de altas prestaciones que satisfacen sus necesidades de aplicación más exigentes. Ofrecen arquitecturas modulares y un rango de opciones de E/S y red. Estas poderosas soluciones de control ofrecen capacidades de primer nivel tales como procesos, seguridad y movimiento. Nuestros controladores programables de automatización (PAC) de gran tamaño, diseñados para aplicaciones de control distribuidas o de supervisión, proporcionan confiabilidad y rendimiento excepcionales (Bradley, 2020).

## **1.10 Lenguajes de programación**

Los lenguajes de programación del PLC Allen Bradley son símbolos, caracteres y reglas de uso que fueron diseñados para poder tener una comunicación, usuario y máquina mediante un protocolo de comunicación EtherNet/IP.

### **1.10.1 Diagrama de escalera o ladder**

Es un lenguaje de programación gráfico muy popular, ya que está basado en los clásicos esquemas de control eléctricos con relés. De este modo, es muy fácil de entender para un técnico eléctrico. El lenguaje de programación ladder será utilizado para el control del proyecto de automatización del molino triturador, para el diseño de la programación se utilizará el software Microllogix con licencia para PLC Allen Bradley (Frank, 2019).

### **1.10.2 Características principales**

Las diferentes características son mencionadas por (Pac, 2011).

- Las instrucciones se colocan del lado izquierdo.
- Las salidas siempre se colocan del lado derecho.
- Se pueden colocar varias instrucciones o varias salidas en paralelo.
- El procesador del PLC (Figura 1.8) interpreta los datos de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

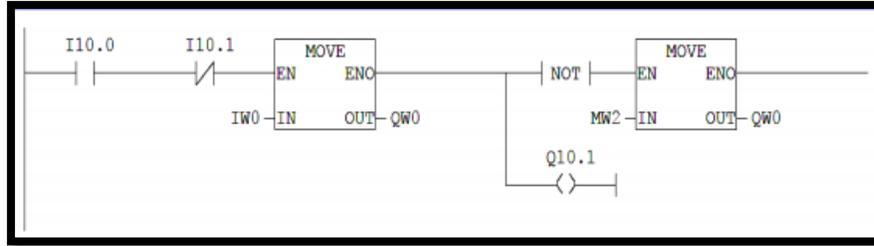


Figura. 1.8. Diagrama de escaleras

Fuente: (Controladores Industriales Inteligentes, 2011)

Para la programación ladder se va utilizar el siguiente proceso de automatización de control (Figura 1.9).

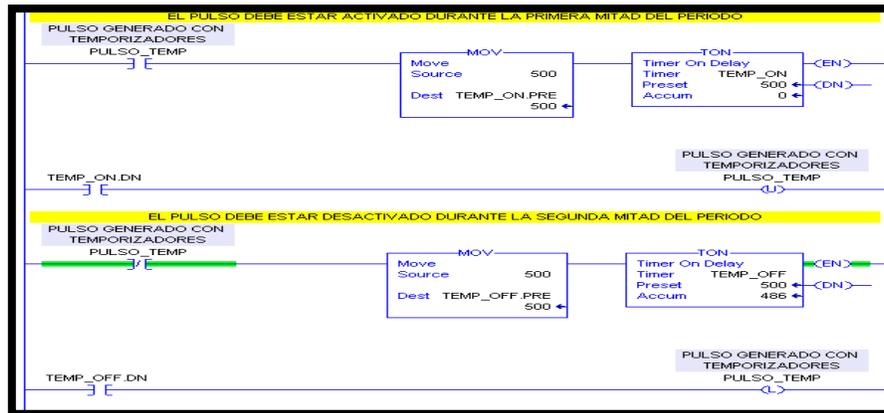


Figura. 1.9. Programación software Microllogix

### 1.10.3 Desventajas del lenguaje ladder

Según (Frank, 2018) se utiliza el lenguaje de programación ladder por las siguientes ventajas.

- Es el más adecuado para controlar los problemas, donde sólo las variables discretas (Booleanas) son necesarias y/o donde es el problema principal de control.
- Es difícil manipular las variables analógicas y expresar las operaciones aritméticas.
- Tiene un soporte muy limitado para las matrices y bucles, resultando a menudo en la duplicación de código.

### 1.11 Diagrama de bloques funcionales

Es un lenguaje gráfico, que describe una función entre las variables de entrada y variables de salida, como un conjunto de bloques (Figura 1.10) de elementos funcionales de carácter elementales, que están conectados por líneas de conexión directa al programa y control, para la interpretación de secuencia de algoritmo diseñado (Frank, 2018).

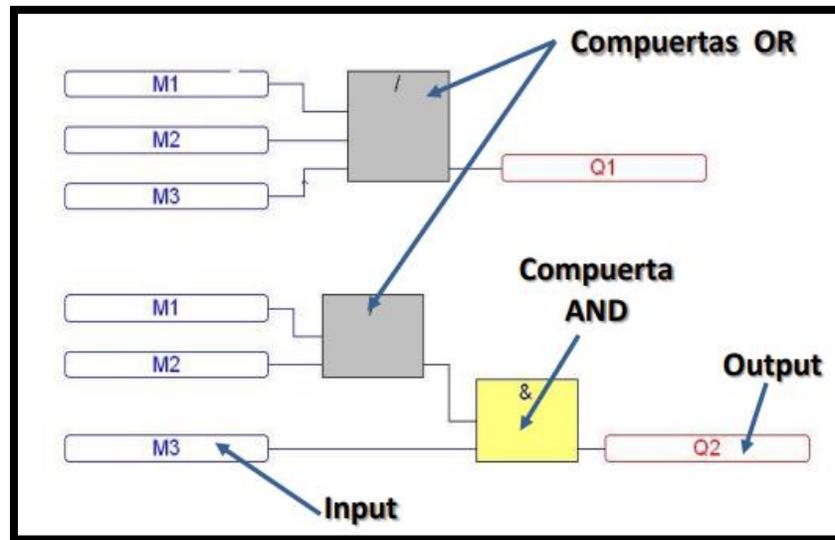


Figura. 1.10. Diagrama de bloques

Fuente: (Programables, 2001)

### 1.12 Interfaz de comunicación

La comunicación se la realiza mediante software que sea compatibles con el PLC Allen Bradley 5000 propio de la planta Pronaca Puenbo que trabaja con el software de programación Microllogix de diferentes versiones de trabajo, que se encuentran integrado a la red principal del *software* Ignition de supervisión y datos, sistema que mejorar las relaciones hombre-máquina para su automatización.

El protocolo de comunicación que utiliza la planta Pronaca es EtherNet/IP industrial, para sus aplicaciones industriales que posee el centro de operaciones el cual garantiza la comunicación y operación de los equipos.

### 1.13 Ignition

Es un *software* de adquisición de datos y modo supervisión, control y producción que se encuentra comunicado instalado con dispositivos de campo, que controla los procesos de manera automática desde la pantalla del ordenador o servidor donde se encuentra implementado el *software* Ignition (Inductive automation, 1990). Ignition (Figura 1.11) se encuentra implementado en Pronaca Puenbo desde el 2019 siendo una herramienta importante para el control de producción y adquisición de datos del proceso, la comunicación del *software* es vía Ethernet/IP con los dispositivos de campo como el PLC Allen Bradley 5000 (Hcltech, 2020).



**Figura. 1.11. Software Ignition**

Fuente: (Inductive automation, 1990)

### 1.14 Mecanismos electromecánico de control

#### 1.14.1 Mecanismos servomotor

Un servomecanismo (Figura 1.12) es un sistema formado de partes mecánicas y electrónicas que en ocasiones son usadas en robots, con parte móvil o fija (EPS, 2014). Puede estar formado también de partes neumáticas, hidráulicas y controladas con precisión para la generación de movimiento (García, A, 2016).



**Figura. 1.12. Servomotor ERMO 16-ST**

Fuente: (Fezer, 1925)

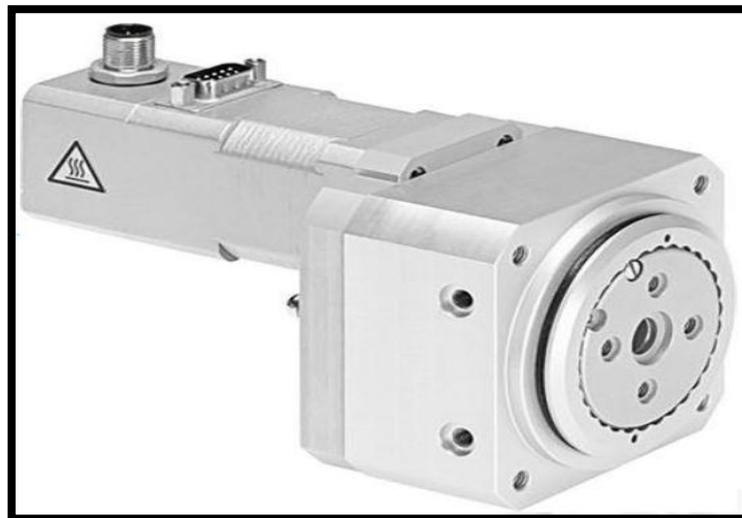
### 1.14.2 Actuadores giratorios eléctricos ERMO

#### 1.14.3 Características principales

- Actuador giratorio eléctrico con motor paso a paso y reductor integrado.
- Funcionamiento regulado con encoder
- Alojamiento robusto para grandes fuerzas y momentos
- Freno de inmovilización
- Montaje sencillo y preciso

#### 1.14.4 Características técnicas del actuador giratorio ERMO

- Actuador giratorio electromecánico
- Momento de giro nominal: 0,8 Nm
- Fuerza radial máxima: 300N
- Relación de reducción: 9:1
- Velocidad de giro nominal: 100 1/min
- Protección: IP40



**Figura. 1.13. Actuador giratorio ERMO 16-ST**

Fuente: (Fezer, 1925)

Las características de los servos se caracterizan por su forma y características de aplicaciones que asigna el catálogo de Festos para sus aplicaciones (Daniel Cabrera, 2014)

#### 1.14.5 Controlador para actuador giratorio



**Figura. 1.14. Controlador de actuador**

Fuente: (Fezer, 1925)

#### 1.14.6 Módulo de comunicación EtherNet/IP controladores

El nodo de bus conocido como CTEU es un dispositivo planificado para ser utilizado en estaciones principales de redes EtherNet/IP.

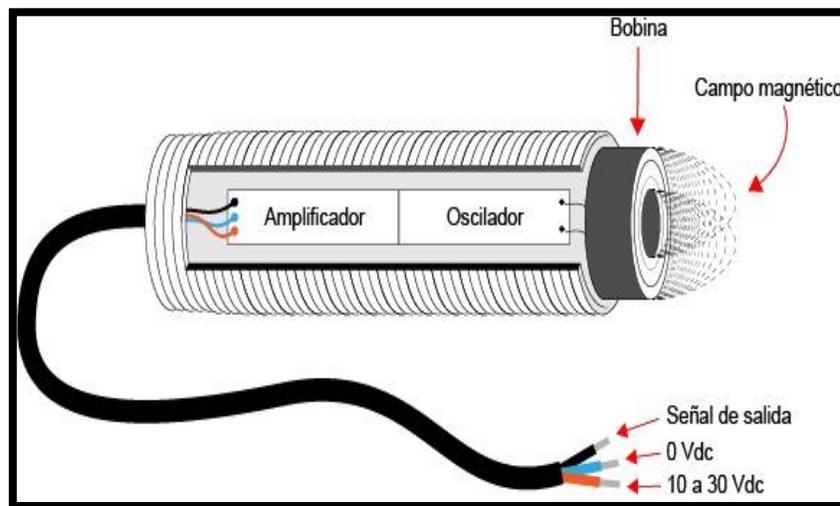
### 1.15 Sensores industriales

Con los sensores se puede hacer la analogía con el ser humano que cuenta con 5 sentidos como son mirar, oír, oler, probar y gustar; cada uno de los sentidos envía información al cerebro para controlar las acciones que pueda realizar las personas. Un ejemplo de los sentidos es caminar hacia un muro que se encuentra ubicado a tres metros de distancia, los sensores que intervienen son los ojos el tacto y el oído, los cuales permiten apreciar donde se encuentra ubicado el muro (Infaimon, 2018).

Ahora una vez entendida la analogía de los sensores se puede decir que un sensor es un dispositivo electrónico que envía datos hacia un cerebro, que lo convertirá en información para la adquisición de decisiones de acuerdo con las necesidades para el cual fue diseñado.

### 1.15.1 Sensor inductivo

Los sensores inductivos (Figura 1.15) existen en gran variedad en tamaños, diseños y formas dependiendo de la necesidad, su trabajo se basa en el principio de transformador y un fenómeno físico de alternar las corrientes eléctricas, los sensores de proximidad cuentan con alimentación eléctrica lo que genera movimiento de corrientes alternas en una bobina, al acercarse un objeto conductor o permeable magnéticamente cambia su impedancia, al sobrepasar el umbral, actúa como una señal de que el objeto está presente (González Filgueira, 2008). Los sensores inductivos son utilizados en este proyecto, con la finalidad de generar el punto de referencia del servomotor que realizará su “homming” o punto cero cada vez que el sensor inductivo da una señal (Contaval, 1982).

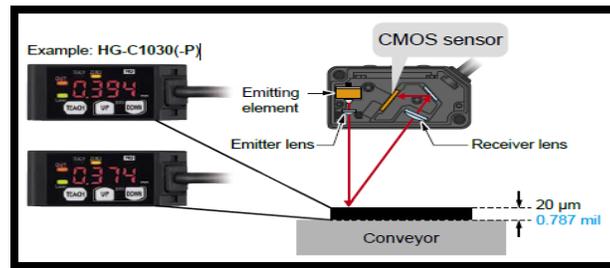


**Figura. 1.15. Sensor inductivo**

Fuente: (Tecnologías de control, 2016)

### 1.15.2 Sensores de distancia CMOS “HG-C1030(-p)”

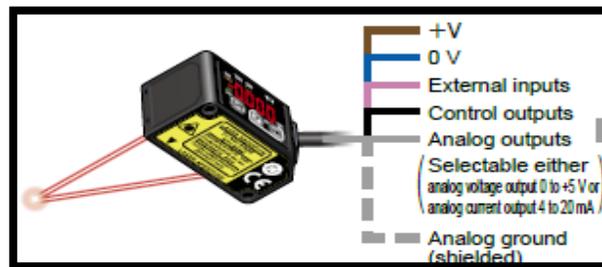
Se encuentra equipado con un sensor de imagen CMOS (Figura 1.16) preciso y un algoritmo original gracias a un sensor de imagen CMOS preciso, ahora es posible realizar operaciones muy precisas medidas del orden de 1/100 mm o 0.0003 “in” (TEM, 1999). Para el desplazamiento del rodillo existente los sensores reflectivo laser para obtener un desplazamiento exacto (Panasonic, 2011).



**Figura. 1.16. Partes del sensor HG-C1330**

Fuente: (Panasonic, 2011)

Equipado con salida analógica de 0 a +5 V y Salida de corriente analógica de 4 a 20 mA, el sensor no solo indica los valores medidos en mm (Figura 1.17).



**Figura. 1.17. Diagrama de salidas**

Fuente: (Panasonic, 2011)

Estos elementos son los más precisos en mediciones de distancia que retroalimentan a los servomotores para realizar su desplazamiento positivo o negativo en el eje (z).

## 1.16 Protocolo de comunicación “IO-link”

Es una conexión punto a punto bajo cualquier red para la integración comunicativa de los niveles de campo inferiores.

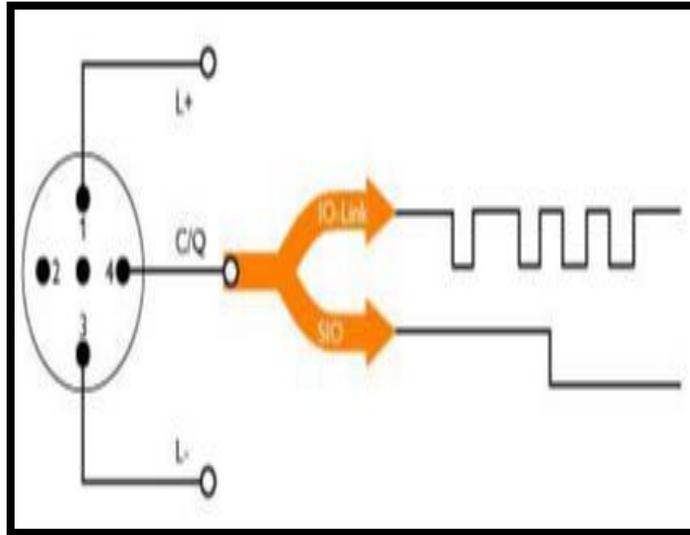
IO-Link es la primera tecnología IO estandarizada para comunicarse con sensores y también con actuadores. Los componentes del sistema son un maestro IO-Link y un dispositivo IO-Link que puede ser un sensor, un actuador o una combinación de ambos, como elemento de un módulo de E/S, el maestro IO-Link se instala en el armario de distribución o, como E/S remota con tipo de protección IP 65/67, directamente en el campo. El dispositivo IO-Link se acopla al maestro mediante un cable estándar sensor/actuador con una longitud máxima de 20 m. Genera y consume señales (conmutación binaria, entrada/salida analógica) que se transmiten directamente a través de IO-Link en un formato digitalizado (Banner, 2018).

### 1.16.1 Información técnica para IO-Link

- Velocidad de datos: 4.8 / 38.4 / 230.4 kbaud
- Máx. longitud del cable: 20 m, sin apantallar
- Tiempo de ciclo típico: 2 ms Tipo de conexión: punto a punto, serie, bidireccional, semidúplex
- Conectores estándar: M5, M8, M12

### 1.16.2 Funcionamiento IO-link

La alimentación del sensor pines 1 y 3 como muestra la (Figura 1.18) y la transmisión de la señal pin 4 se realiza mediante un cable de 3 hilos que es un standard en las instalaciones de campo (Wiedemann, 2017). La comunicación IO-Link es bidireccional gracias un protocolo serie que permite intercambiar paquetes de datos normalizados. Los parámetros con la configuración del sensor pueden ser transmitidos remotamente al sensor desde la central; a su vez los valores medidos por el sensor así como la información de diagnóstico también son transmitidos del sensor a la central (Ifm, 2017).



**Figura. 1.18. Funcionamiento IO-Link**

Fuente: (Ifm, 2017)

El maestro IO-Link de integración de señales I/O (como muestra la Figura 1.19) dispositivo eléctrico de recepción de señales.



**Figura. 1.19. Módulo maestro IO-Link**

Fuente: (Ifm, 2017)

### **1.16.3 Ventajas**

Este potente protocolo cuenta con gran soporte en la industria. Un sensor IO-Link puede proporcionar significativamente más información, configuración y control. Desde la instalación hasta el funcionamiento (eh incluso el mantenimiento) de un sistema de automatización, IO-Link presenta grandes ventajas (Ecuainsetes, 1992).

### **1.16.4 Puesta en marcha sencilla**

Esto se debe a que utiliza cables y conectores estandarizados, en lugar de cables o conectores específicos, reduciendo así la complejidad del conexionado. Además, la parametrización de IO-Link a través de interfaces estandarizados simplifica la configuración de nuevos sensores (Ecuainsetes, 1992).

### **1.16.5 Eficiencia operativa**

La capacidad de IO-Link de identificar los dispositivos y dar acceso a sus parámetros proporciona mucho más control que el ofrecido por los sensores y actuadores tradicionales. Así mismo, debido a que se puede automatizar la parametrización, el tiempo muerto asociado con la reconfiguración manual puede ser también reducido o eliminado (Ecuainsetes, 1992).

### **1.16.6 Mantenimiento del sistema**

IO-Link proporciona una excelente accesibilidad a la información necesaria para mantener y maximizar la producción en una red de automatización (Ecuainsetes, 1992). Es importante para la automatización de procesos o recepción de señales, para el mantenimiento de estos elementos eléctricos no se necesita el aporte de un profesional que va a intervenir en estos dispositivos puede ser nula, por tener características pocos manipulables que operen el único plan de mantenimiento que se implemente es la verificación de puertos conectados y limpieza,

### **1.16.7 Menos cableado para ahorrar costos de instalación**

Transmisión de varias señales analógicas y puntos de conmutación con solo un cable apantallado categoría 6 estándar de 3 hilos. Así, se reduce el número de puntos de conexión y se deja más espacio libre en el conducto de cables, los sensores y actuadores, tanto análogos como binarios, se pueden conectar a través de los puertos IO-Link. Sustituyendo varios módulos de entrada / salida (Ecuainsetes, 1992).

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Para el proyecto en lo que se refiere a la fundamentación teórica se usará el método empírico (Sampieri R. , 2014) ya que se trata de un proyecto técnico, se debe garantizar la clasificación de sus partes en sus diferentes sistemas, como es el proceso de automatización de un proceso manual, con un autómata electrónico, consta de diferentes sistemas de control, potencia y de comunicación (Sampieri R. , 2014).

#### **2.1 Metodología de la investigación**

#### **2.2 Método empírico**

Son resultados fundamentales que aportan a la experiencia de la investigación, revelan las relaciones esenciales y características fundamentales del objeto de estudio, accesibles la sensorial, con procedimientos prácticos con el objetivo y medios de estudio se encuentran métodos empíricos que se emplean como (Pérez, 2019):

#### **2.3 Método de observación científica**

Método que permite observar la realidad mediante la sensorial directa de los procesos, para lo cual se debe poseer algunas cualidades que aportan al desarrollo con la siguiente observación científica (Pérez, 2019).

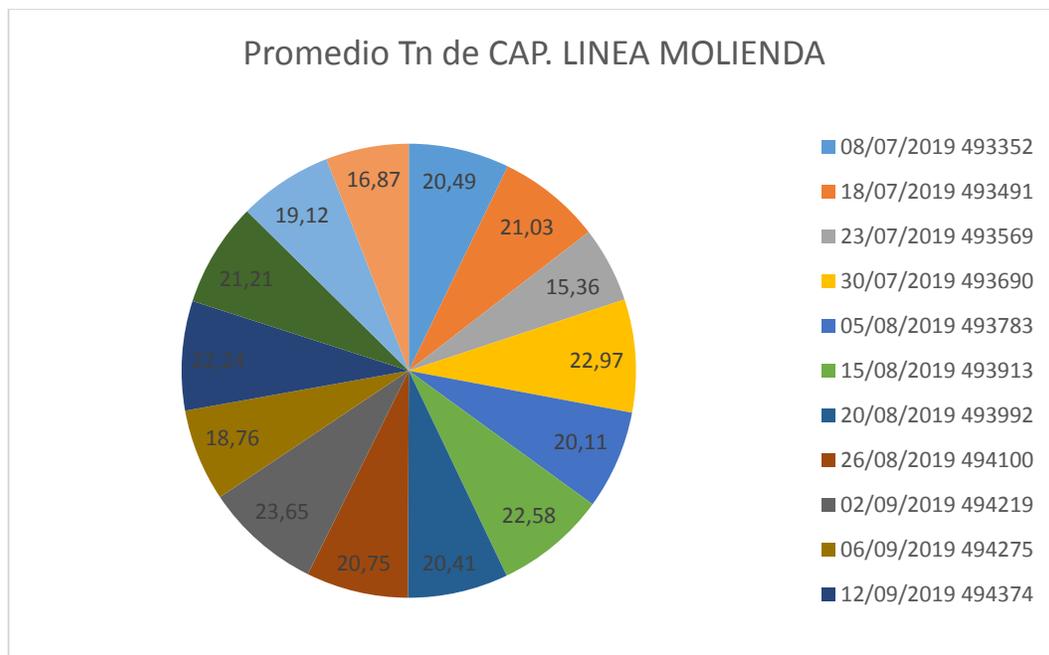
**2.3.1 Consciente:** orientado a un fin determinado u objetivo.

**2.3.2 Planificada:** se encuentra en función de los objetivos, tomando en cuenta los objetivos y condiciones.

**2.3.3 Objetiva:** despojada de la posible subjetividad, apoya al juicio de realidad más no de valores.

## 2.4 Método de medición

Este método se caracteriza por tener evidencia numérica (Figura 2.1) acerca de una propiedad o cualidad del objeto, este proceso mide y evalúa cantidades y magnitudes medibles conocidas. Para ello se basa en procedimientos estadísticos (Pérez, 2019).



**Figura. 2.1. Capacidad de la línea productiva de molienda**

## 2.5 Método experimental

Es el más complejo y eficaz de los métodos empíricos. En este método interviene el investigador sobre el objeto de estudio directo o indirecto para crear las condiciones que permitan revelar sus características fundamentales y relaciones esenciales (Pérez, 2019).

Para el método experimental, el investigador pone toda su experiencia en el campo de la investigación con el aporte de toda su experiencia y conocimientos para el desarrollo del control automático de programación y control, las importancias de ciertos métodos ayudan al investigador en la recolección de información y aplicación, para ello el investigador conoce las técnicas aplicables el campo en desarrollo y control de variables medibles que delimitan el caso específico del investigador.

Los pasos en el desarrollo de la investigación son los siguientes:

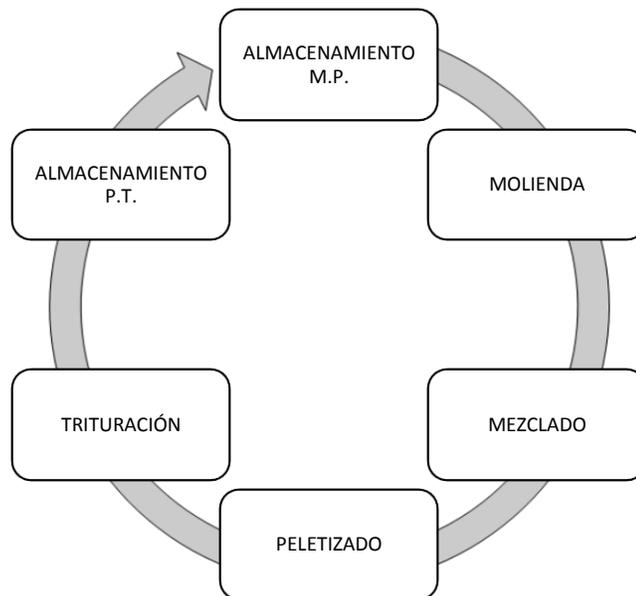
- Proceso de recolección de información
- Interpretación de la información recolectada
- Desarrollo de la propuesta con bases sustentables de la investigación
- Desarrollo en el campo de aplicación
- Validación de resultados

## CAPÍTULO 3

### PROPUESTA

#### 3.1 Esquema de producción

Se propone un diseño de automatización para el control de trituración, de una máquina de producción de alimento balanceado (Figura 3.1). Para la planta de balanceados Pronaca-Puembo el objetivo principal es la reducción de costos, planes de mantenimiento y la calibración manual del rodillo de trituración del alimento balanceado.



**Figura. 3.1. Flujo grama de producción de la línea de producción**

### 3.2 Descripción de partes importantes del proyecto

Diagrama de propuesta del proyecto de automatización del molino triturador de alimento balanceado (como muestra la Figura 3.2).

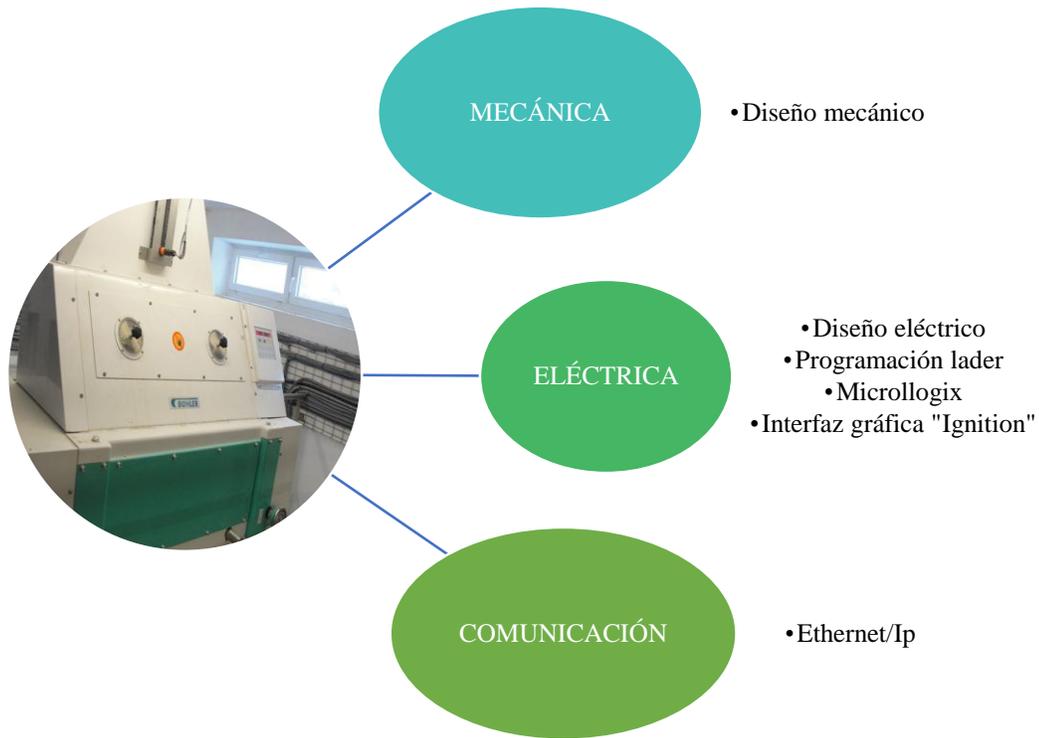


Figura. 3.2. Diagrama de partes del proyecto

### 3.3 Propuesta mecánica

**3.3.1 Diseño mecánico:** para implementación mecánica se va a utilizar un acero ANSI 705, se propone la implementación de 2 ejes roscados con paso de rosca triangular de 1.5mm normalizadas, para el control de movimiento lineal del eje de la (z) que está fijado en el equipo, controlado por el servomotor paso a paso que se encuentran acoplados directamente a eje principal (Anexo 1) del molino triturador (según Figura 3.3).

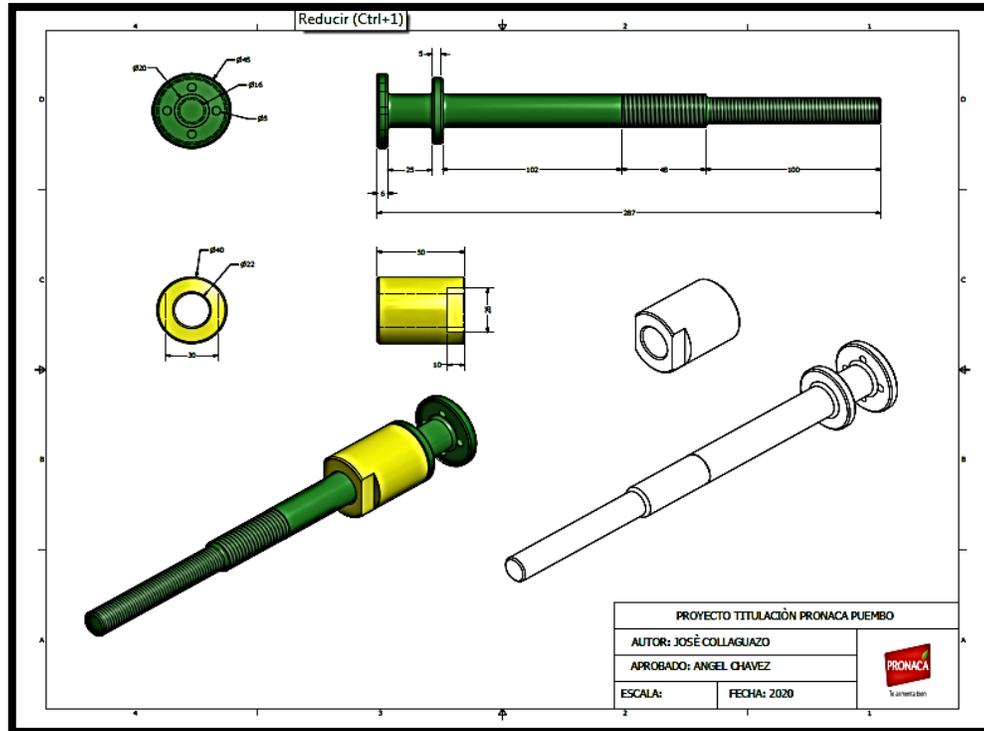


Figura. 3.3. Plano mecánico volante de control movimiento lineal

### 3.3.2 Acero ANSI 705

Es acero al molibdeno más cromo y níquel (Tabla 3.1). El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias (Figura 3.4) de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente, este acero combina alta resistencia mecánica con buena tenacidad. Al ser acero bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico (Ivanbohman, 1995).

Tabla. 3.1. Composición química y mecánicas del acero 705

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA-MECÁNICA AIS 705</b>				
<b>%C</b>	<b>%Si</b>	<b>%Mn</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>
0,34	0,1 – 0,35	0,60 – 0,80	0,04 – 0,30	0,002 – 0,03
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>				
<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Resistencia mecánica (N/ mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Punto de fluencia (N/ mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Elongación % Min</b>	<b>Dureza rockwell B</b>
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380

Fuente: (Ivanbohman, 1995)



Figura. 3.4. Acero 705

Fuente: (Ivanbohman, 1995)

### 3.3 Propuesta eléctrica

La propuesta está compuesta de la guía principal de la arquitectura de conexión de los elementos eléctricos.

#### 3.3.1 Arquitectura principal de implementación del proyecto

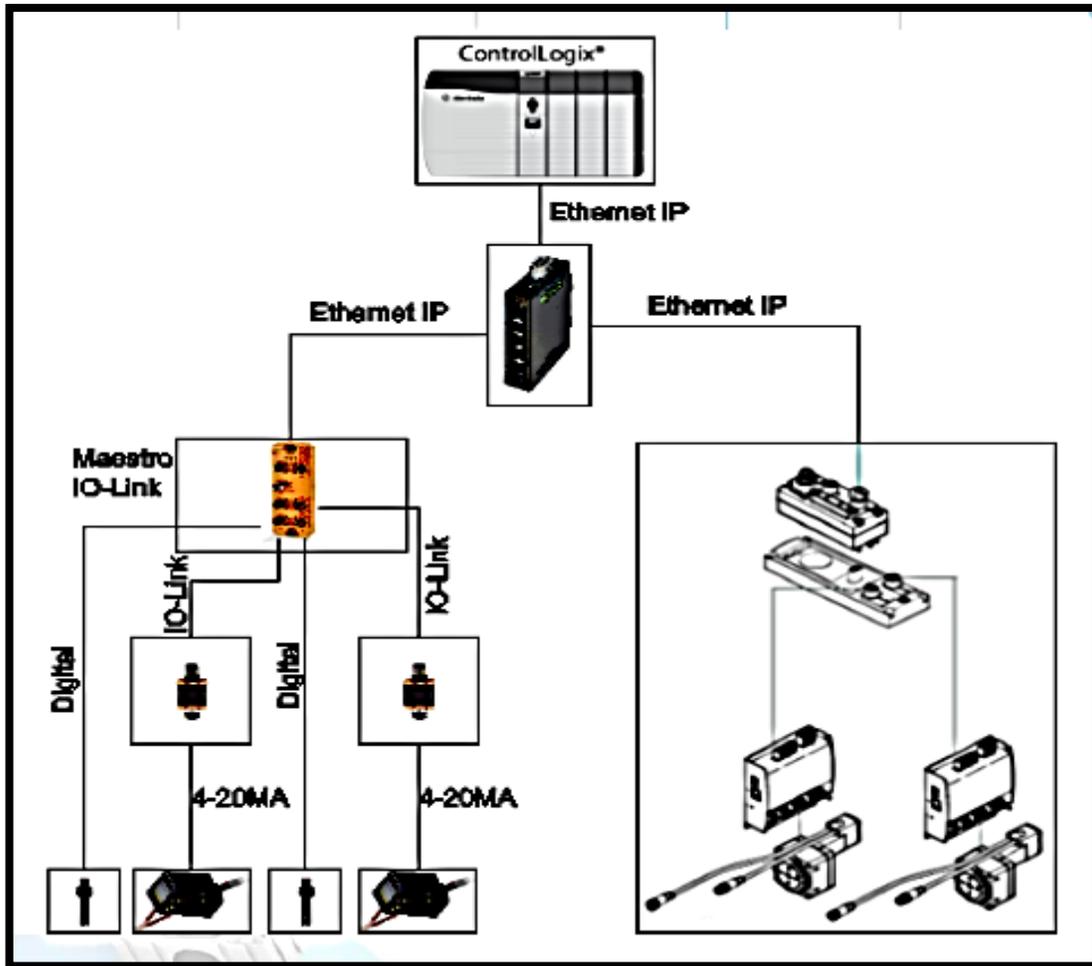


Figura. 3.5. Esquema de implementación del proyecto

**3.3.2 Diseño eléctrico:** la implementación de este proyecto tiene como objetivo principal el diseño eléctrico, para la visualización correcta de todos los puntos de control del proyecto, se observa en el plano eléctrico sus respectivas líneas de conexión eléctrica (Figura. 3.6) de los

dispositivos eléctricos que componen el proyecto de automatización del molino triturador según (Anexo 2).

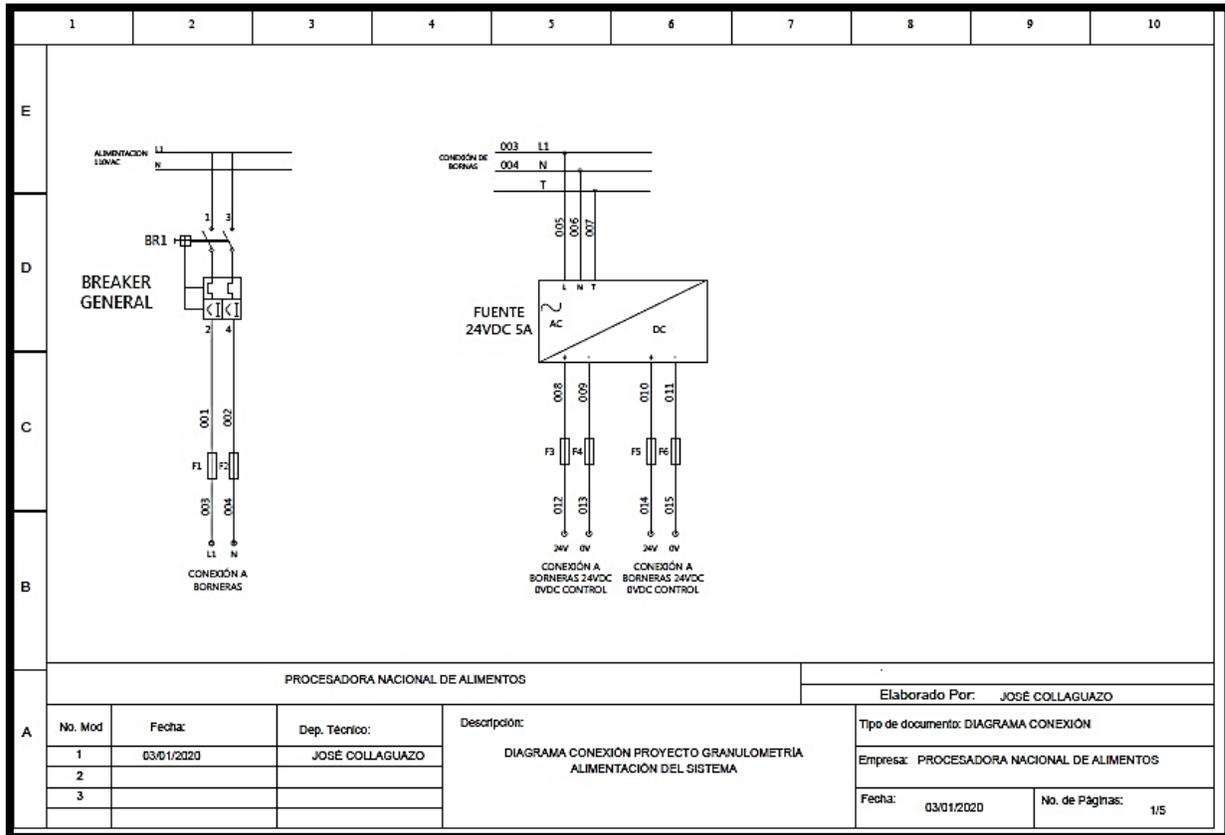


Figura. 3.6. Plano eléctrico de implementación

### 3.4 Componentes electrónicos designados del proyecto

**3.4.1 Sensor inductivo:** es utilizado como dispositivo electrónico de tecnología para sensores de a proximidad que detecta cualquier objeto metálico sin tener un contacto físico, este sensor ayuda al proyecto para ser el punto de referencia o de partida del servomotor (Celera motion, 2020).

**3.4.2 Sensor CMOS distancia:** es utilizado esta clase de sensores por sus aplicaciones de medir distancias a tiempo real mostrando el desplazamiento en el eje horizontal según como se

encuentre implementado (Figura 3.7), tiene un rango de medición de 100mm desplazado en sentido horizontal, tiene una salida de corriente de 4 a 20 mA, resistente a una temperatura de 10 a 45 °C sensor de tipo laser de modo de actuación reflectivo (Panasonic, 2018).

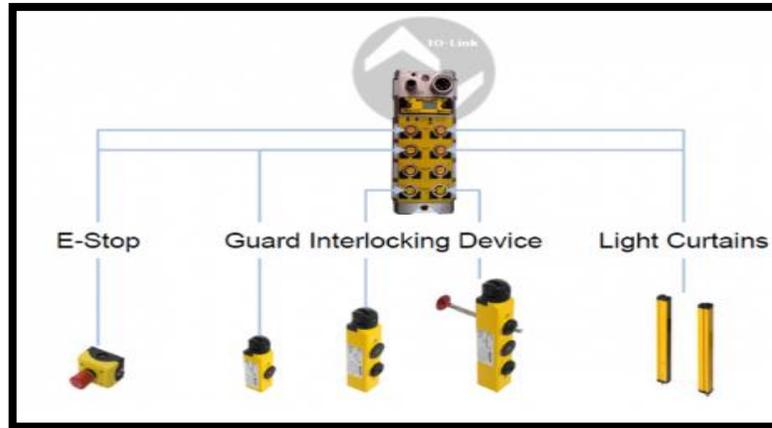


**Figura. 3.7. Aplicación del sensor de medición HG C**

Fuente: (Panasonic, 2018)

**3.4.3 Maestro IO-link:** la selección de este dispositivo se aplica por una amplia gama de beneficios como mejor receptores de señales de campo, facilita una comunicación eficiente y fiable entre los niveles de gestión y de sensor/actuador, al ejecutar una función de pasarela entre Ethernet y IO-link. Pueden conectarse los 4 puertos directamente permitiendo al maestro IO-link parametrizar y configurar cada dispositivo aportando con una reducción de costos de cableados y mejorando producciones en serie (Balluff, 2013).

El módulo E/S Ethernet con el maestro IO-link (Figura 3.8) se puede incorporar en condiciones idóneas al perfil de recepción y control de señales requeridas para operaciones industriales en la compañía y regulación de varios puntos de cableados innecesarios en el control de dispositivos eléctricos de una maquina o fabricantes (Ifm, 2017)



**Figura. 3.8. Conexiones sensores - maestro IO-link**

Fuente: (Balluff, 2013)

**3.4.4 Servomotor ERMO 16-ST:** se ha seleccionado el siguiente servomotor de marca Festo por tener una amplia gama de beneficios aplicables y configurables, desde un controlador que funciona en conjunto con el servomotor, ejecutando el movimiento lineal de acuerdo a lo programado desde la PC principal de producción. Sus características físicas (Tabla 3.2), y técnicas del equipo (Tabla 3.3) se describen a continuación.

**Tabla. 3.2. Especificaciones técnicas aplicables del servomotor Festo**

<b>Servomotor ERMO 16-ST</b>	
<b>Características de implantación</b>	
•	Motor paso a paso con reducción integrada
•	Funcionamiento regulado con encoder
•	Alojamiento robusto para grandes esfuerzos
•	Freno de inmovilización
•	Montaje sencillo y preciso

Fuente: (Daniel Cabrera, 2014)

**Tabla. 3.3. Especificaciones técnicas aplicables del servomotor Festo**

<b>Características técnicas seleccionadas</b>	
•	Momento de giro nominal 0,8 Nm
•	Fuerza radial máxima 300 N
•	Protección IP 40
•	Velocidad de giro 100 RPM

Fuente: (Fezer, 1925)

### **3.4.5 Controlador de motor CMMO-ST-C5-1-LKP**

Controlador mediante se compromete la comunicación punto a punto del controlador y motor, siendo el puente comunicación entre dispositivos electrónicos para sus operaciones, el protocolo de comunicación que maneja estos controladores es EtherNet.

### **3.4.6 Nodo de comunicación de bus CTEU-EP**

Bus de comunicación de campo llamado CTEU, es el encargado en transmitir la comunicación EtherNet/IP, también conocido como una central de redes, esta central debe ser utilizado en su estado original, sin modificaciones no utilizadas y en perfecto estado, ya que para su parametrización puede ser aplicada sin inconvenientes ya que el proceso de conexión es la alimentación, red e indicadores que ya se encuentran predeterminados por fabrica, el único proceso que se tiene que realizar con los CTEU es de conectar la alimentación de los controladores para el reconocimiento de campo de los dispositivos que van a implementar.

## **3.5 Componentes del tablero eléctrico**

- Switch industrial 5 puertos marca wago con dirección IP de salida 192.168.168.74 que realizara comunicación con el switch 2960 Cisco principal de la planta.
- Fuente regulable 110-220v marca wago se utilizará como elemento de regulación de voltaje de todos elementos electrónicos que se encuentran funcionando a 24 VDC.
- Accesorios eléctricos como bornes, Breaker, canaletas, conectores etc.

- Para la implementación de este proyecto se utilizará la siguiente lista de materias para armado del tablero.

Se observa a continuación la lista de materiales eléctricos a ser implementado en el sistema de automatización (según Tabla 3.4).

**Tabla. 3.4. Elementos eléctricos tablero**

<b>TABLERO ELÉCTRICO</b>		
<b>ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
1	Tablero 60x40x20 cm tool	1
2	Breaker	1
3	Bornes	30
4	Porta fusible	10
5	Bornes de paso	30
6	Puentes	12
7	Topes	8
8	Riel DIN	4
9	Canaleta	5
10	Terminales	30
11	Marquillas	60
12	Cable	1
13	Controlador	2
14	Cables de comunicación	2
15	Fuentes de alimentación	1

### **3.6 Programación**

**3.6.1 Programación ladder:** la programación se la realizará mediante un *software* que es ejecutado por el programador Microllogix 5000 *software* licenciado como muestra la siguiente (Figura 3.9) este programa es un facilitador de las tareas, listas de algoritmos a cumplir por el PLC Allen Bradley 5000 propio de la planta Pronaca Puenbo.



**Figura. 3.9. Pantalla inicio *software* Microllogix**

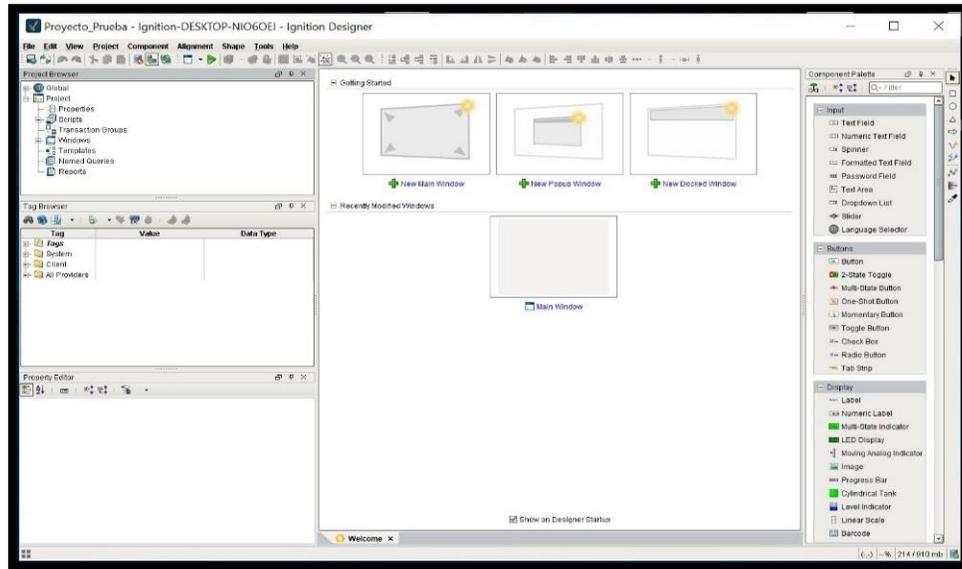
Fuente: (Bolton, 2011)

**3.7 Programación gráfica (Ignition):** la implementación de la programación gráfica es parte del *software* Ignition, (como muestra la Figura 3.10) programa que se encuentra dentro de la plataforma industrial de Pronaca, se utiliza como herramienta digital para graficar los indicadores de operación del equipo y facilitar las tareas de control de operaciones para el personal operativo, es importante resaltar para fácil recepción visual del operador debe contener las gráficas como colores y tonalidades que eviten el cansancio visual o intensidad de la luminosidad de la pantalla que puede ocasionar daños oculares a largo plazo al personal que opera los equipos de producción.



**Figura. 3.10. Software Ignition**

Para la interfaz gráfica creada por Ignition en la pantalla de edición grafica (Figura. 3.11)



**Figura. 3.11. Pantalla interfaz gráfica Ignition**

### 3.8 Protocolo de comunicación del proyecto

En el desarrollo del presente proyecto se tiene planificado realizar la siguiente comunicación del tablero de control hacia la red Pronaca que estará disponible para la automatización del proyecto que va a hacer implementado en la misma red industrial de Pronaca para uso operacional de la compañía.

**3.8.1 Comunicación industrial Ethernet/IP:** este protocolo de comunicación se utiliza en todos los dispositivos automatizados de planta Pronaca se encuentra implementado por ser una red de uso de aplicaciones de automatización industrial, para ejecutar la comunicación se necesita siempre de un *software* y *hardware*, la comunicación de los equipos es Ethernet/IP (como muestra la Figura 3.12). Para establecer una comunicación se configura entre la red Pronaca y el PLC Allen Bradley 5000 de uso de automatización de la planta Pronaca.



**Figura. 3.12. Tecnología de comunicación Ethernet / IP**

Fuente: (Bernardo, 1994)

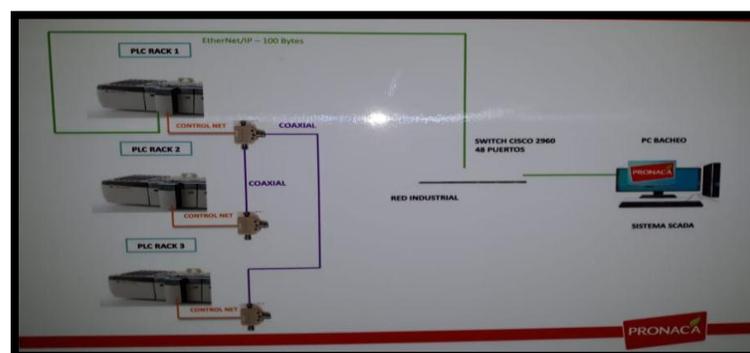
**3.9 Recepción de comunicación switch Cisco 2960:** el transporte de la información que se recibe de los dispositivos electrónicos instalados en planta ingresa al dispositivo Cisco 2960 vía Ethernet/IP propia de la planta Pronaca (como muestra la Figura 3.13) la información ingresa a la red industrial y se direccionan, las tareas al PLC Allen Bradley 5000 propio de la planta.



**Figura. 3.13. Switch Cisco 2960**

Fuente: (Bernardo, 1994)

Como se puede observar en la (Figura 3.14) se muestra la integración actual de la red Ethernet / IP de Pronaca Puenbo.



**Figura. 3.14. Red comunicación Pronaca**

### **3.10 Impacto positivo del proyecto**

El desarrollo de la propuesta tiene un impacto positivo para la planta Pronaca Puenbo, en mejora de sus procesos de producción y operacional.

#### **3.10.1 Beneficiarios del proyecto**

Los beneficiarios directos del proyecto son como tales la compañía Pronaca, y operadores, que son los que viven la realidad día a día con los procesos de producción de alimento balanceado de la planta Pronaca Puenbo. Este proceso se lo ejecuta como proyecto de titulación de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones de la universidad Israel.

Se desea implementar garantizando la calidad e inocuidad de los productos que comercializa la compañía de alimentos balanceados Pronaca Puenbo, llegando al consumidor final con las especificaciones granulométricas y texturas que el producto necesita para el consumo animal.

#### **3.10.2 Factibilidad económica**

En el proyecto de automatización del molino triturador de alimento balanceado se puede establecer una disponibilidad de los diferentes recursos como:

- Operativo,
- Económico
- Técnico

#### **3.10.3 Valoración económica del estudiante**

La valoración económica del presente proyecto se la realizará con la propuesta del estudiante valoración que se encuentren dentro del marco legal que exige la compañía Pronaca.

**3.10.4 Propuesta de automatización del proyecto:** para la implementación del proyecto el estudiante realizará el auspicio de la empresa Pronaca para la adquisición de elementos electrónicos y quedando el servicio técnico a cargo del estudiante dando una valoración económica de \$ 7,259+IVA (como muestra la Figura 3.15).

<i>AUTOMATIZACIÓN MOLINO TRITURADOR</i>	
<i>DESCRIPCIÓN VALOR.</i>	<i>TOTAL</i>
<i>PRINCIPALES EQUIPOS DE CONTROL</i>	<i>1,546</i>
<i>ACTUADOR GIRATORIO PARA MOVIMIENTO DE RODILLOS</i>	<i>4,913</i>
<i>ACCESORIOS ELECTRICOS</i>	<i>800</i>
<i>SUBTOTAL</i>	<i>7,259</i>
<i>IVA 0,12</i>	<i>871.08</i>
<i>TOTAL</i>	<i>8,130.08</i>

**Figura. 3.15. Cotización de automatización estudiante**

### 3.10.5 Ventajas de la implementación del proyecto

Para conocimiento general del presente proyecto, llega como una gran solución a los procesos de trituración manuales existentes en la planta Pronaca Puenbo, obteniendo las siguientes ventajas en el proceso.

**3.10.6 Eficiencia operativa:** una de las importantes ya que se optimiza el valor de tiempo que utiliza el operador actualmente al dirigirse al equipo.

**3.10.7 Eficiencia productiva:** esta eficiencia se la conoce como el tiempo que utilizaba el operador para calibrar la distancia lineal del rodillo de trituración (Figura 3.16).



Figura. 3.16. Rodillos de trituración movimiento lineal

**3.10.8 Mejor calidad en el producto:** siendo una de las más importantes para la empresa por la obtención de productos de calidad a la primera vez evitando reproceso que no generan valor al costo del producto (como muestra la Figura 3.17)



**Figura. 3.17. Producto terminado balanceado**

Al ser un sistema automático presenta distintas variables de trabajo, como ventajas y desventajas del sistema de trituración como se encontraba el antes y después (según Tabla 3.5).

**Tabla. 3.5. Ventajas y desventajas de la automatización**

<b>VALORACIÓN DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN</b>	
<b>VENTAJAS (DESPUÉS)</b>	<b>DESVENTAJAS (ANTES)</b>
Rápida y eficiente calibración	Calibración manual
Producto con calidad a la primera vez	Demora en medir los productos
Equipo automatizado 100%	Equipo manual 50%

## **CAPÍTULO 4**

### **IMPLEMENTACIÓN**

Para la implementación del proyecto en general se planifica seguir el mismo orden mencionado en el capítulo 3, garantizando la ejecución ordenada y correcta de las partes que integran el equipo automatizado, como se describe a continuación.

- Implementación mecánica
- Implementación eléctrica
- Implementación cableada de comunicación

#### **4.1 Implementación mecánica**

La implementación está compuesta del desmontaje del equipo para la correcta adaptación de los nuevos volantes roscados de movimiento lineal en el eje (z) del equipo.

##### **4.1.1 Desmontaje del equipo**

Se realiza el desmontaje con la utilización de tecles de carga de 2 Tn ya que el equipo tiene un peso de 1 Tn y puesta en el piso (como muestra la Figura 4.1) para mantenimiento (como muestra la Figura 4.2) se puede visualizar el desmontaje del molino triturador con el objetivo, de ser movilizado e implementado en la ubicación asignada por Pronaca e el proyecto aceptado.



**Figura. 4.1. Implementación y desmontaje del equipo**



**Figura. 4.2. Implementación del equipo en piso y mantenimiento**

Continuando con el proceso de implementación mecánica, se procede al desmontaje de los rodillos de trituración que se encuentra montados y funcionando en el equipo de molienda este proceso es necesario para realizar la implementación del rediseño del control mecánico de movimiento lineal en el eje (z) del rodillo triturador del molino (como muestra la Figura 4.3) que se observa el cambio de volantes de control (como muestra la Figura 4.4) se puede visualizar el orden desmontaje para la correcta implementación del mecanismo.



**Figura. 4.3. Implementación y desmontaje de rodillos trituración**



**Figura. 4.4. Implementación y desmontaje de volantes antiguos**

La adaptación de los volantes roscados nuevos se implementa con el fin garantizar la distancia de separación de los rodillos, la implementación se realiza con la instalación de los rodillos estriados y acoplamiento de los rodamientos cónicos 24440 con manguito H320 que se acoplan al eje y pared del molino triturador (como muestra la Figura 4.5).



**Figura. 4.5. Implementación y desmontaje volantes de calibración antiguos**

La fijación de los volantes roscados se la realizan con la calibración mínima de separación de (1.5 mm) entre rodillos de trituración, siendo el punto inicial que emperza el recorrido lineal al momento que el equipo ya se encuentre en operación (Figura 4.6).



**Figura. 4.6. Implementación mecánica volantes nuevos de control**

## 4.2 Implementación eléctrica

La implementación eléctrica se la realiza con un procedimiento que garantiza el orden de la implantación eléctrica para el control y montaje de dispositivos electrónicos dentro del tablero de control.

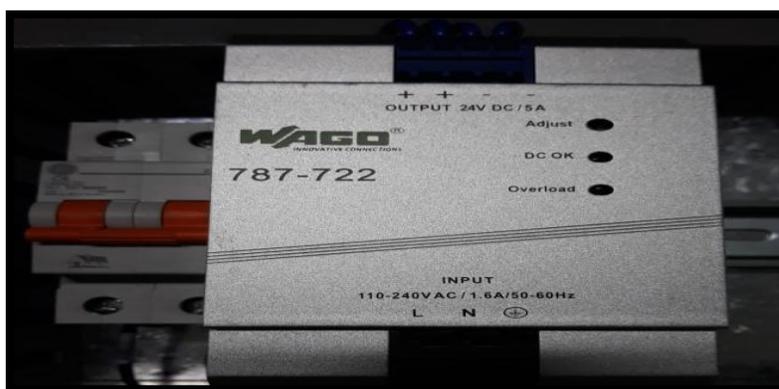
**4.2.1 Armado del tablero eléctrico de control:** el tablero eléctrico de control se lo realiza de la siguiente manera y materiales electrónicos (Figura 4.7) que son importantes para el funcionamiento (Tabla 4.1). del proyecto de automatización (según Tabla 4.2).

**Tabla. 4.1. Implementación de materiales eléctricos**

<b>TABLERO ELÉCTRICO</b>	
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
1	Tablero 60x40x20 cm tool
1	Breaker
10	Bornes
12	Porta fusible
12	Bornes de paso
10	Puentes
7	Topes
5	Riel DIN
5	Canaleta
30	Terminales
30	Marquillas
1	Cable
2	Sensor inductivo
2	Sensor distancia Panasonic
2	Actuador ERMO

**Tabla. 4.2. Implementación de materiales eléctricos**

2	Controlador
3	Cables de comunicación
1	Fuentes de alimentación
1	Accesorios IO-link
1	Switch 5 puertos wago



**Figura. 4.7. Implementación de la fuente alimentación 110V- 24 VDC**



**Figura. 4.8. Implementación del tablero eléctrico**



**Figura. 4.9. Implementación del maestro IO-link al tablero eléctrico**

Con la implantación del tablero eléctrico (Anexo 5) se procede a la adaptación de los sensores en el equipo que están compuestos de 2 grupos importantes como sensores de inductivos tiene la función principal de realizar el “homming” o también conocido como punto de referencia de partida del servomotor según (como muestra la Figura 4.10) sensores de distancia (Anexo 6).



**Figura. 4.10. Implementación de sensores inductivos**

### 4.2.2 Sensores de distancia

Estos son los sensores que facilitan el control de distancia ya que retroalimentan al sistema de control con la distancia de separación entre rodillos de trituración (Figura 4.11).



Figura. 4.11. Implementación del sensor de distancia Panasonic

### 4.2.3 Receptor de señales IO-link.

La tecnología IO-link se encuentra operativa dentro de la revolución de la industria 4.0. En la automatización de empresas que es una herramienta electrónica que facilita la recepción de señales, y comunicación hacia el autómatas programables según (como muestra la Figura 4.12) la integración del maestro IO-Link es uno de los puntos más importantes de la implementación, mecanismo o sistema que se encargara en recibir las señales digitales de los sensores del sistema de apertura molino.



Figura. 4.12. Implementación del maestro IO-link

#### 4.2.4 Implementación de controladores servomotores Festo

La implantación (Anexo 3) y conexiones (Anexo 4) del controlador (Figura 4.13) se implementan con la fijación de manera estática ya que son instrumentos que pueden ser afectados por el movimiento o vibraciones excesivas del equipo (como muestra la Figura 4.14).



Figura. 4.13. Implementación de controladores de servomotores Festo



**Figura. 4.14. Implementación de servomotor Festo ERMO**

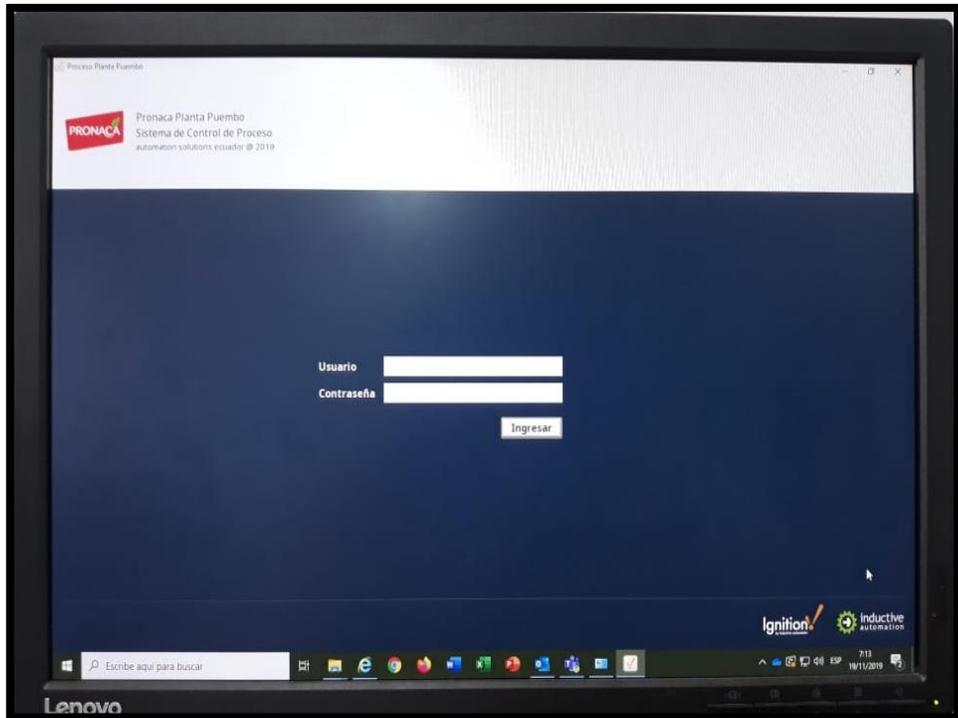
La implementación del tablero contiene los siguientes elementos (como muestra Figura 4.15)



**Figura. 4.15. Implementación del tablero de control eléctrico**

### 4.3 Programación de la interfaz gráfica Ignition

Para la programación gráfica se considera el siguiente procedimiento de configuración. Iniciar el *software* de la plataforma Ignition con los datos de usuarios y claves de Pronaca, proporcionados por la empresa ASE Ecuador administradora de la plataforma corporativa (como muestra la Figura 4.16).



**Figura. 4.16. Implementación de la pantalla de inicio *software* Ignition**

Una vez abierta se puede crear nuevos proyectos o editar los proyectos integrados actualmente a la plataforma Ignition (como muestra la Figura 4.17) la apertura del cuadro de dialogo en la implementación del sistema grafico de la pantalla principal de operación del usuario.

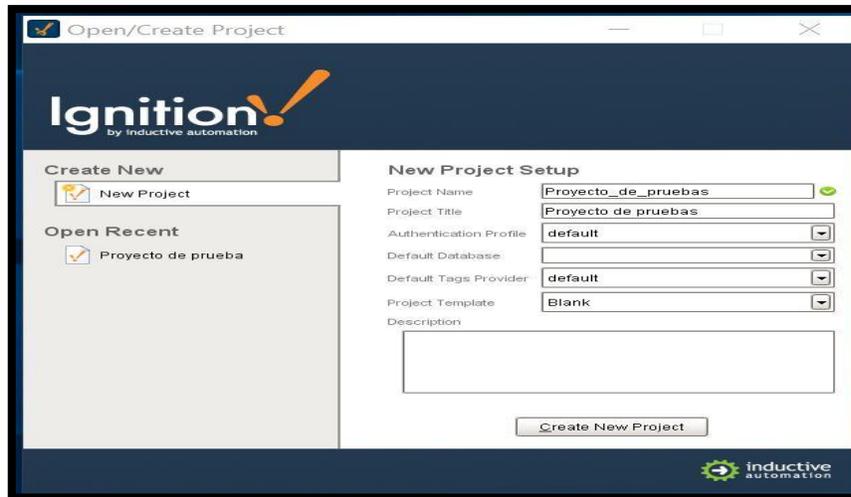


Figura. 4.17. Implementación de la pantalla de ejecución proyectos Ignition

Automáticamente se despliega una nueva pantalla donde se puede realizar las gráficas deseadas para el proceso de automatización del equipo (como muestra la Figura 4.18).

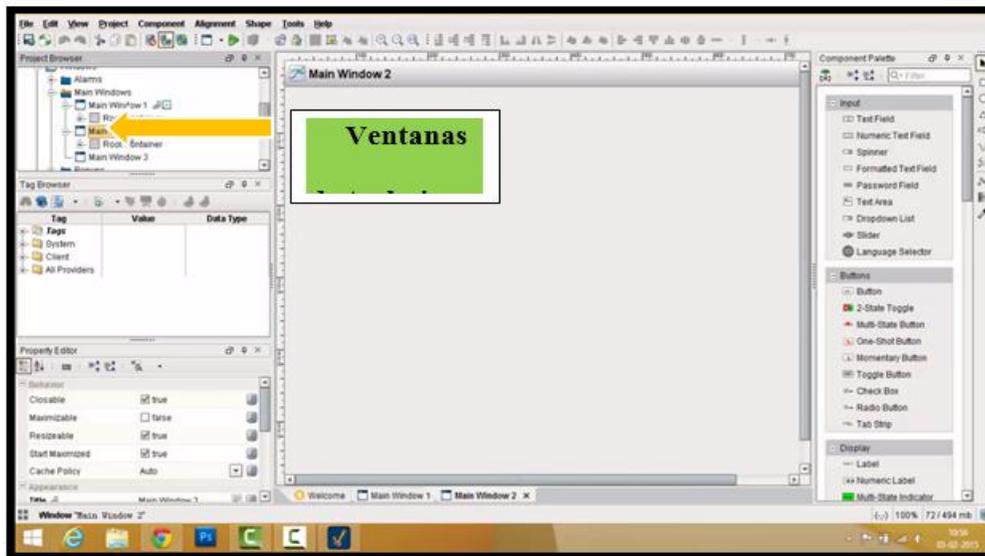


Figura. 4.18. Implementación de la pantalla de interfaz gráfica Ignition

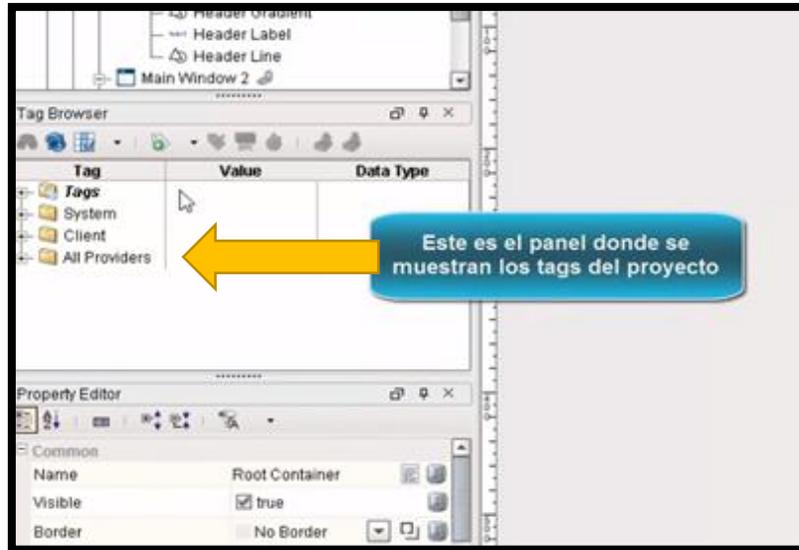


Figura. 4.19. Implementación de la pantalla gráfica implementada Ignition

Luego de la finalización de las gráficas, se procede a la comunicación con el PLC se procede a la creación de “TAGS” esta opción genera señales gráficas gestionadas para la operación del PLC **Allen Bradley 5000** (como muestra la Figura 4.20).

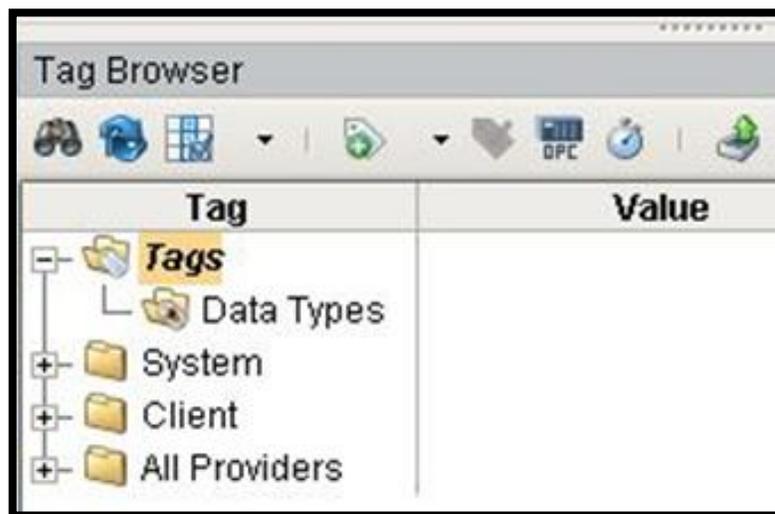


Figura. 4.20. Implementación de la pantalla de configuración “TAGS”

Se edita los campos como nombres al nuevo “TAGS” los datos ingresados deben ser acordes al registro del PLC Allen Bradley 5000, se presiona el pulsador OK (como muestra la siguiente Figura 4.21).

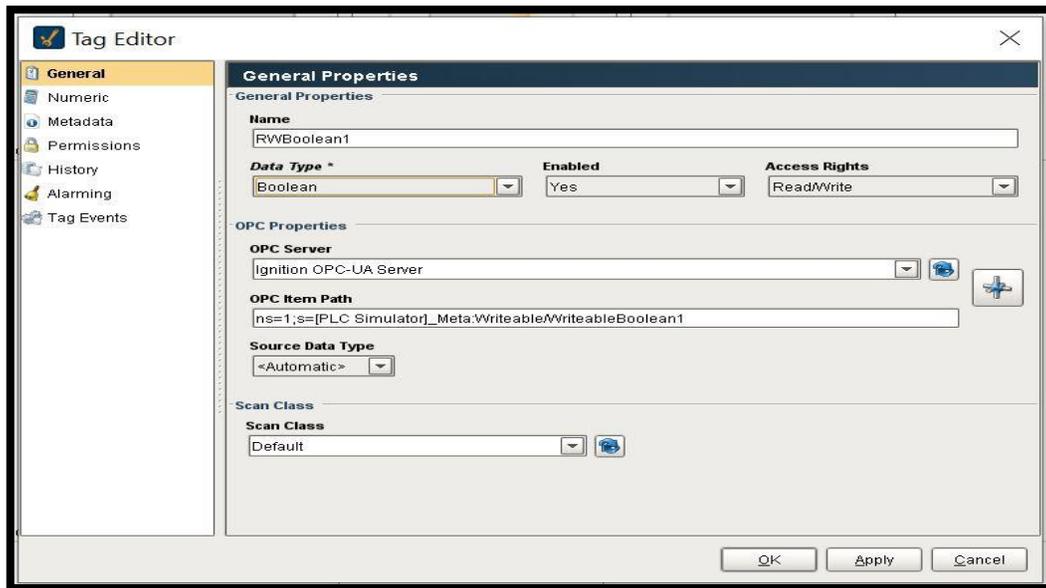


Figura. 4.21. Implementación de la pantalla de inicialización “TAGS”

En la pantalla muestra el nuevo “TAGS” creado anteriormente (como muestra la Figura 4.22).

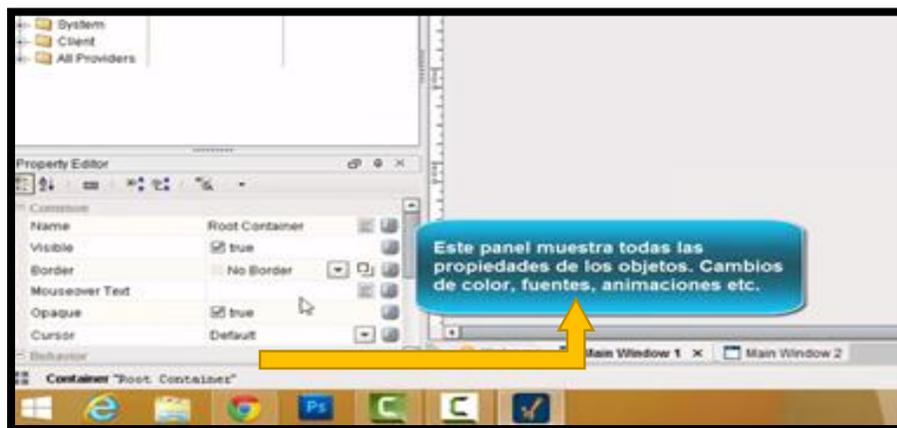


Figura. 4.22. Implementación del “TAGS” creado

Al lado derecho del escritorio de Ignition gráfico se puede utilizar todas las herramientas gráficas para el diseño de operación (como muestra la Figura 4.23)

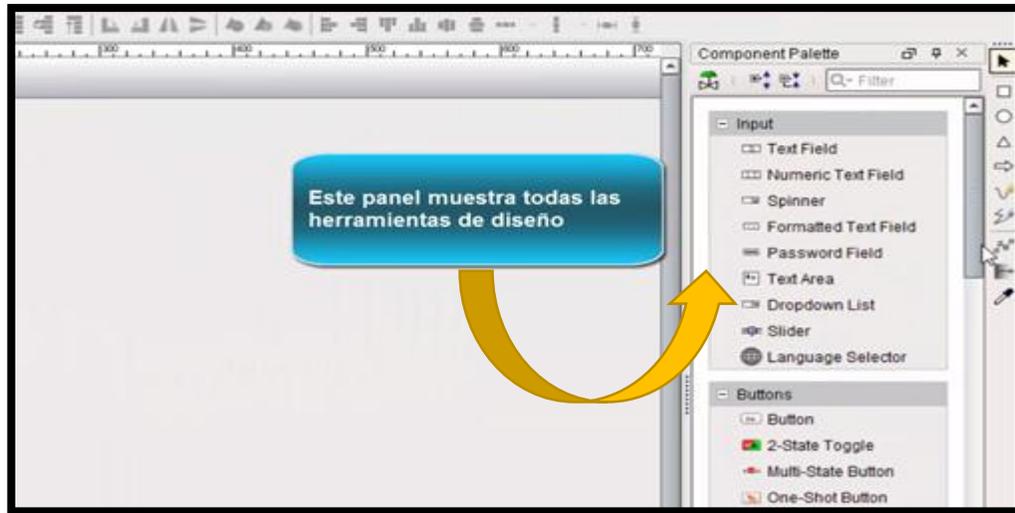


Figura. 4.23. Implementación de la ventana de iconos de animaciones Ignition

A continuación, muestra la base de datos de interfaz gráfica actual de Pronaca para la respectiva integración del proyecto del molino triturador (Figura 4.24).

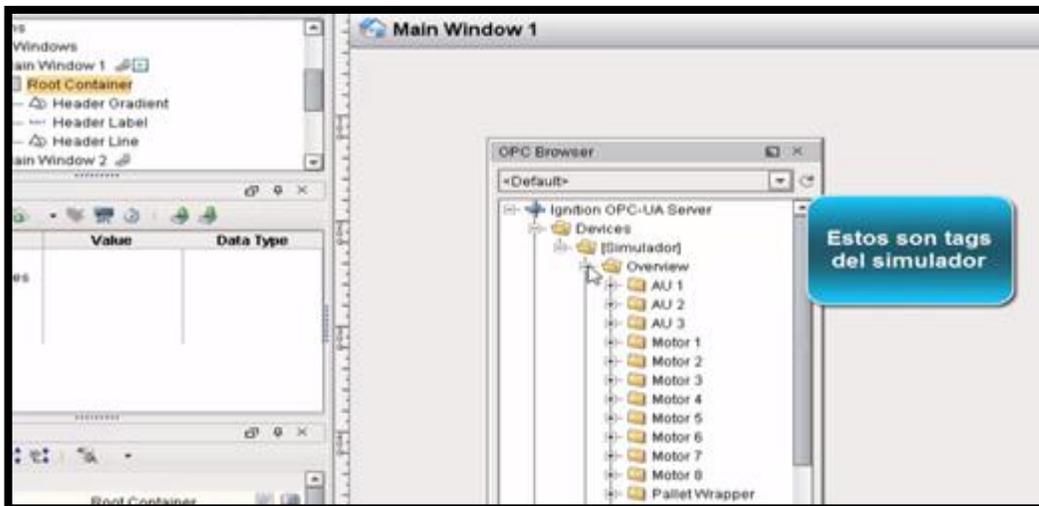


Figura. 4.24. Implementación de base de datos gráficas de Pronaca "TAGS"

Se importan las operaciones y se ejecutan las modificaciones en el escritorio gráfico para la manipulación del operador (como muestra la Figura 4.25).

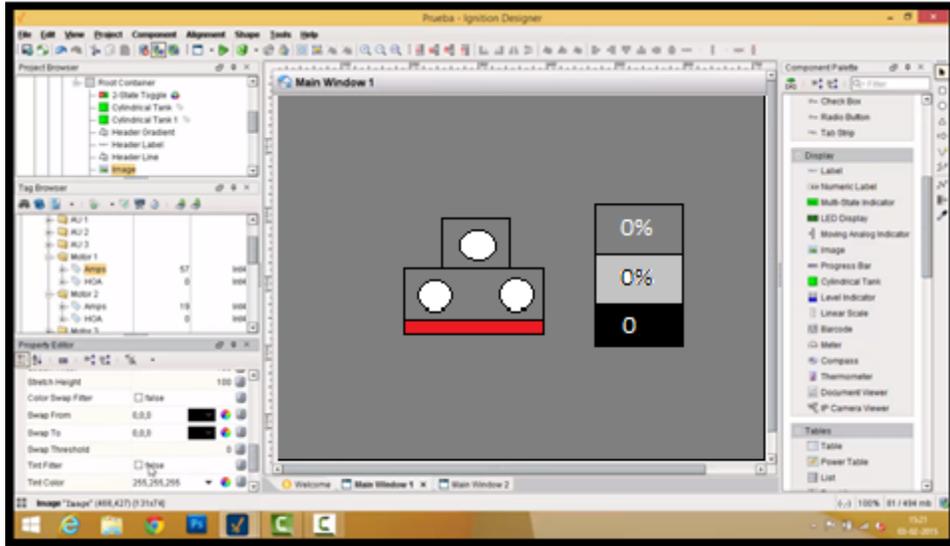


Figura. 4.25. Implementación de la pantalla graficada del molino triturador

Luego de la finalización gráfica (Figura 4.26) y terminado el proyecto se realiza dos pasos importantes (Figura 4.27) para la ejecución del programa, guardar el proyecto, ejecutar programa y se despliega una ventana que indica que Ignition está cargando las bases gráficas en el *software* (como muestra la Figura 4.28).



Figura. 4.26. Implementación de la pantalla para guardar el proyecto

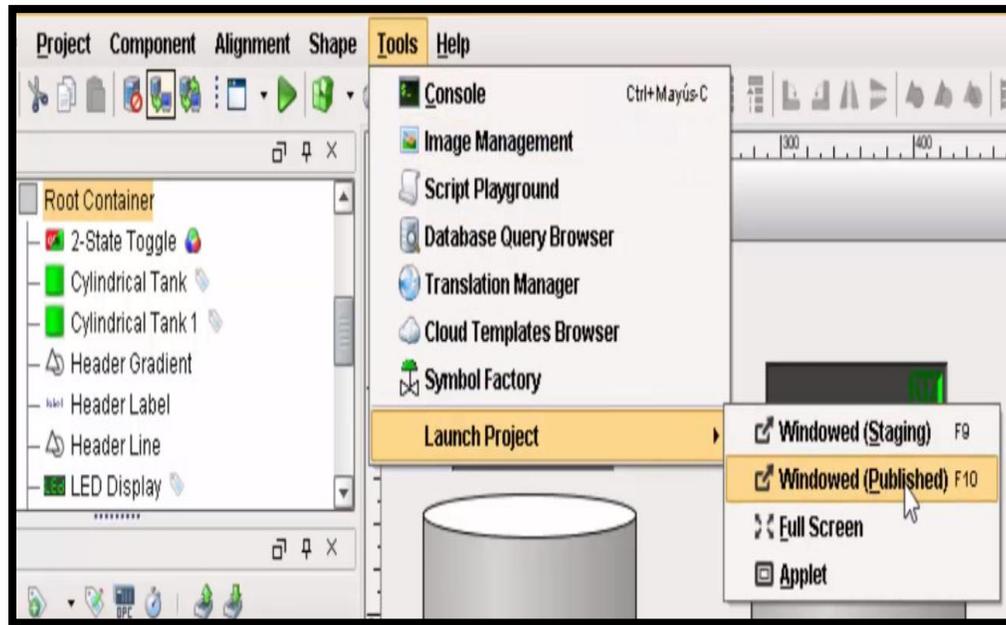


Figura. 4.27. Implementación de la interfaz gráfica a Ignition



Figura. 4.28. Implementación de la pantalla de ejecución Ignition

**4.4 Programación ladder:** para la programación se necesita la ejecución del *software* Microllogix 5000 en un PC, para la ejecución de la programación de escalera en el *software* (como muestra la Figura 4.29).

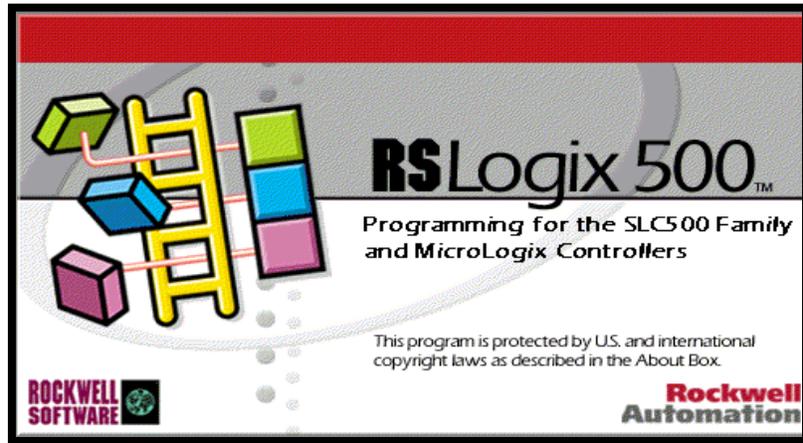


Figura. 4.29. Implementación de la pantalla de inicio de Microllogix 5000

Para la ejecución de un nuevo proyecto se debe seleccionar el PLC Allen Bradley 5000 que se encuentra en la empresa Pumbo (como muestra la Figura 4.30).

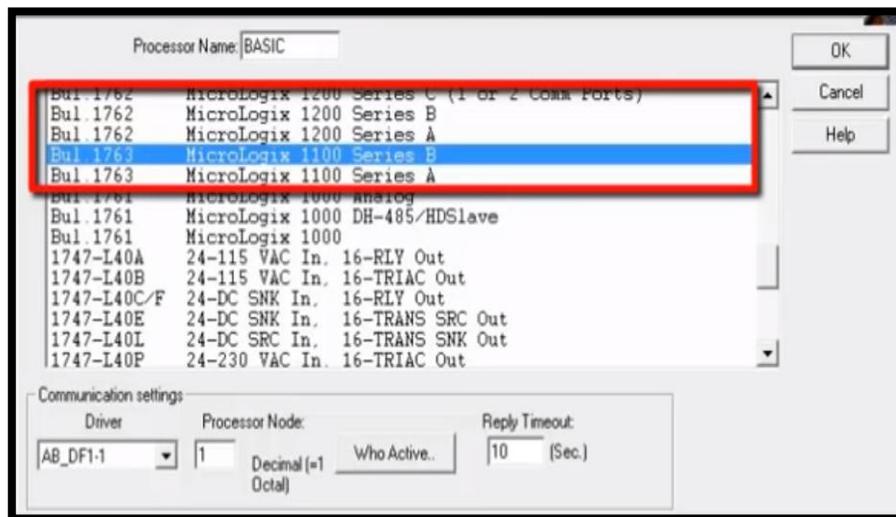


Figura. 4.30. Implementación de la pantalla de trabajo Microllogix 5000

Recurriendo a los iconos de contactos y bobinas se realiza el diagrama en escaleras utilizando contactos abiertos y cerrados lo que permitirá que la autónoma programable, (como muestra la Figura 4.31) realiza la ejecución del algoritmo de programación realizando la correcta movilización del eje principal de movimiento de los servomotores y control de distancia (Anexo 7) y realizando la referencia de partida del eje principal llamado “homming” (como muestra la Figura 4.32).

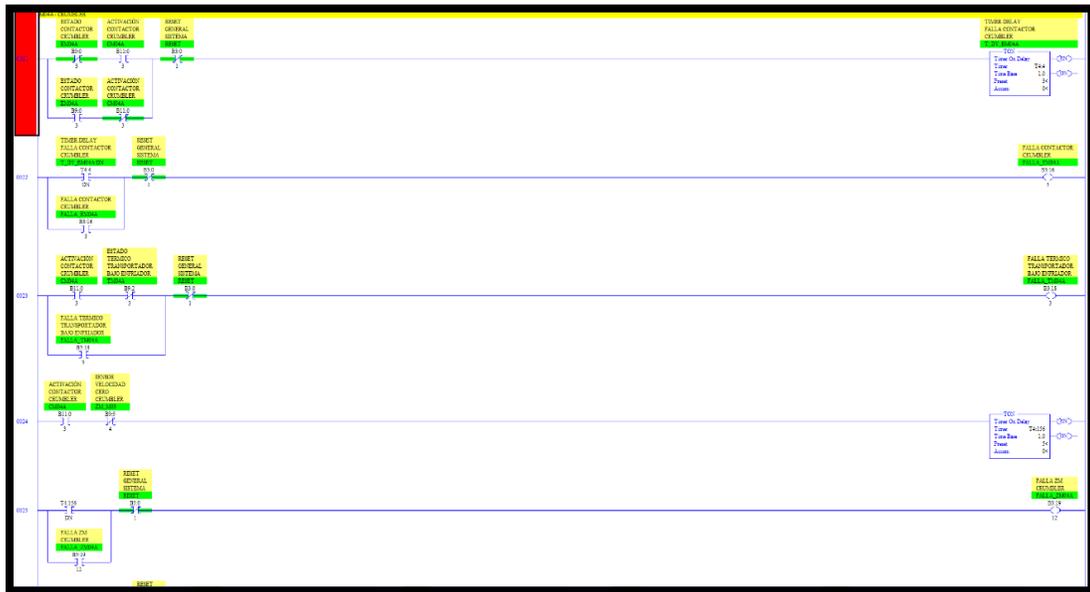


Figura. 4.31. Implementación de la pantalla de programación escaleras

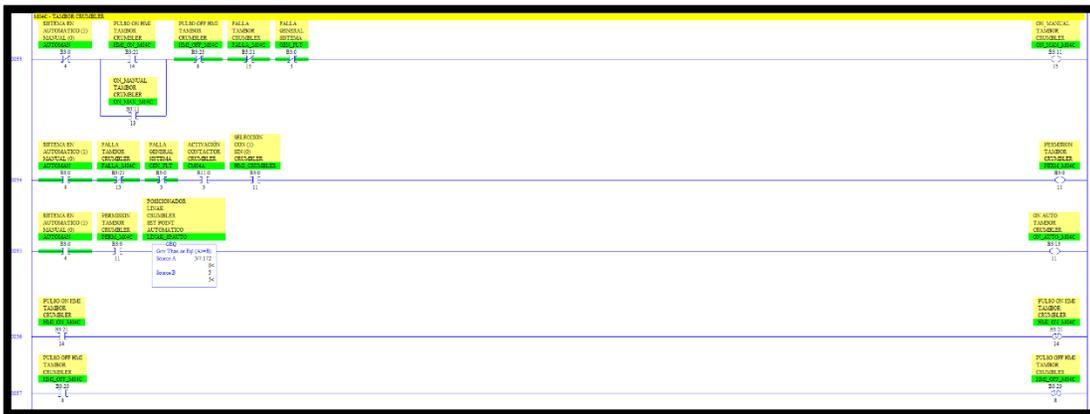


Figura. 4.32. Implementación de la pantalla de programación molino triturador

La transferencia de información al PLC Allen Bradley 5000 se lo realiza con la aportación del *software* RSLinx programa que cumple con las tareas de comunicación entre el PLC Allen Bradley y el *software* de comunicación que finalizara las tareas una vez que el autónomo se encuentre en modo RUN (como muestra la Figura 4.33).

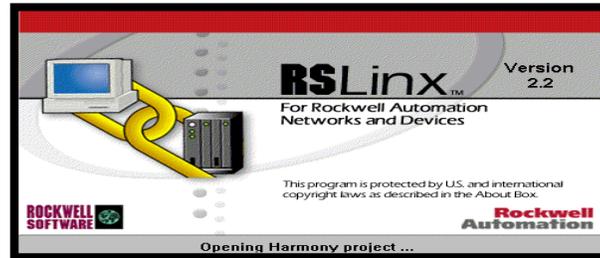


Figura. 4.33. Implementación de la pantalla comunicación RSLinx

Posteriormente luego de la configuración de RSLinx volver a la pantalla de Micrologix 5000 y elegir en el menú principal **comunicación** (como muestra la Figura 4.34), se ejecutará automáticamente la interconexión entre *software* y *hardware* ejecutando la recopilación de información para ser ejecutada por el autónomo programable Allen Bradley 5000 propio de la planta.

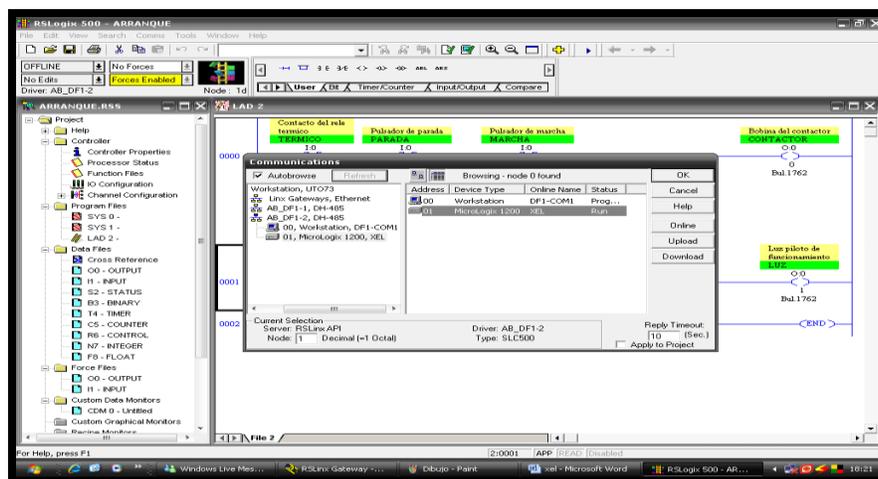
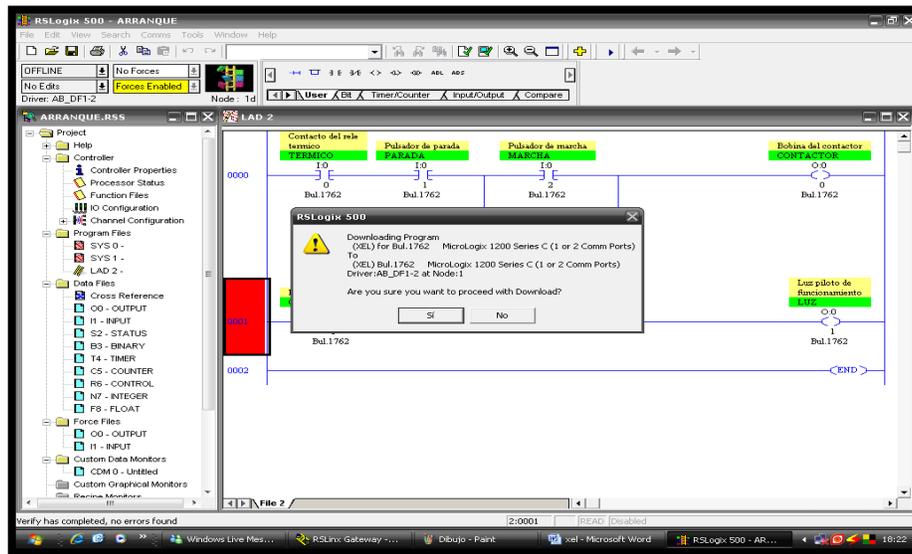


Figura. 4.34. Implementación de la pantalla de comunicación Micrologix 5000

Luego se procede a elegir “*download*” y el *software* confirmará si el usuario desea realizar la comunicación para garantizar la ejecución del proyecto siempre se sugiere realizar un respaldo en caso de fallas de comunicación garanticen la implementación del proyecto dentro del autónoma programable (Figura 4.35).



**Figura. 4.35. Implementación del icono download Microllogix 5000**

El PLC automáticamente se colocará en modo RUN y en ONLINE para abrir o cerrar contactos y realizar cambios o verificaciones del sistema físico de programación, al momento de ingresar validaciones se podrá comprobar si el sistema cumple con la comunicación y programación del servo y control lineal del molino triturador de alimento balanceado (como muestra la Figura 4.36) se lo puede observar el código de programación del molino para el control de los motores a paso, implementados son los principales elementos que se puede contemplar para este proyecto de automatización del molino triturador.



Figura. 4.36. Implementación de la pantalla de programación Microllogix 5000

Una vez configurada y ejecutada toda la programación se puede visualizar en la pantalla de la PC de Ignition (Figura 4.37) la manera de como el usuario va a ejecutar o manipular el control del molino triturador para el proceso de trituración del alimento balanceado en planta.



Figura. 4.37. Implementación de la pantalla de inicio Ignition

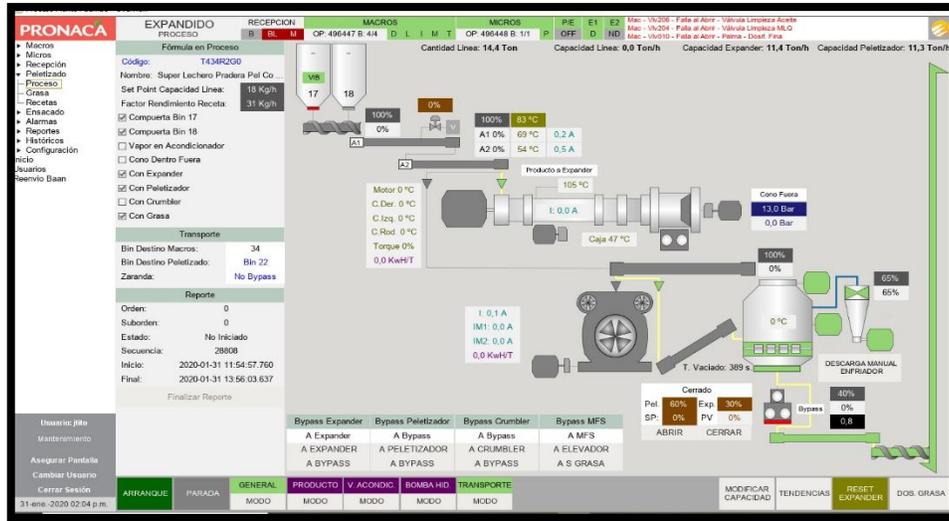


Figura. 4.38. Implementación de la pantalla de la PC Ignition

Para mejor visualización del *software* de Ignition se observa en el molino triturador. El cuadro de calibración del operador el cual calibra de manera porcentual el molino triturador (Figura 4.39).

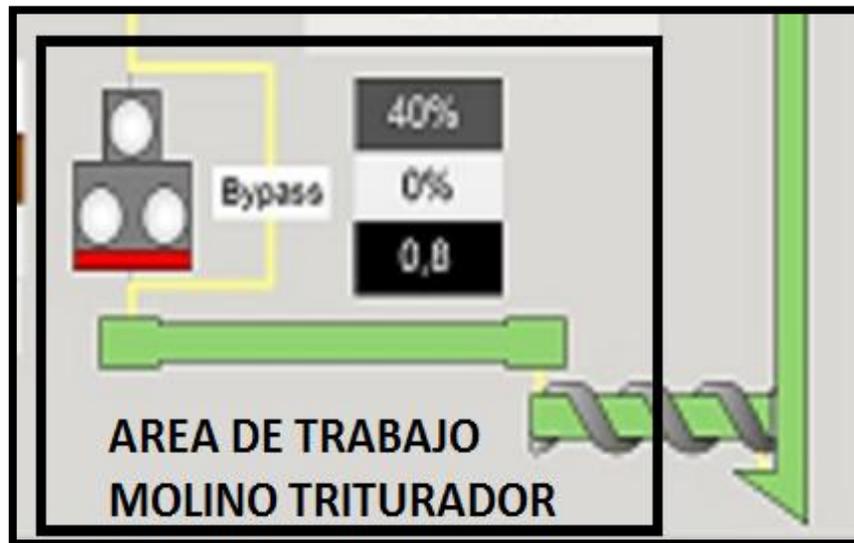


Figura. 4.39. Implementación de la pantalla de Ignition molino triturador

Despliegue de cuadro de alarmas que muestra la pantalla de Ignition en caso de paros inesperados (Figura 4.40).

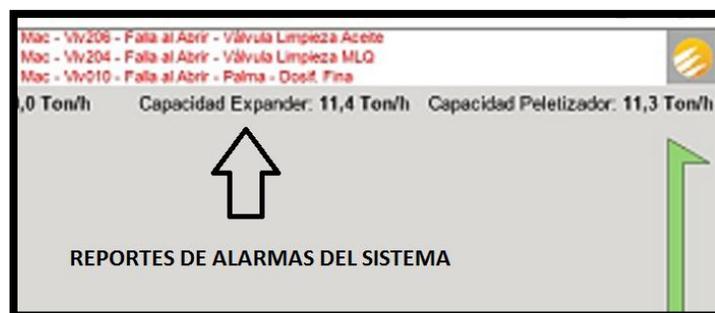


Figura. 4.40. Implementación de la pantalla de alarmas Ignition

#### 4.5 Valoración de resultados obtenidos en ensayos

Llegando al proceso de validación de los ensayos de producción, que ha llegado a tomar la siguiente muestra de producto granulado que aportan a la estandarización de procesos de trituración más eficientes, según códigos de producción (Tabla 4.3).

Tabla. 4.3. Implementación de ensayos de granulometrías

PRODUCTOS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO					
CÓDIGO	PRODUCTO	LOTE	# GRAN	OK	NOK
T310NBGA	Cados Fase 0 Gra Ens B SP 45Kg	490404	1363		X
T310N1GA	Cdos Fase 0 Gra Re SP 45Kg	490513	1396		X
T310N1GA	Cdos Fase 0 Gra Re SP 45Kg	490611	1532	X	
T310N1GA	Cdos Fase 0 Gra Re SP 45Kg	490739	1635	X	
T310N1GA	Cdos Fase 0 Gra Re SP 45Kg	490839	1474		X

Tabla. 4.3. Implementación de ensayo de granulometrías

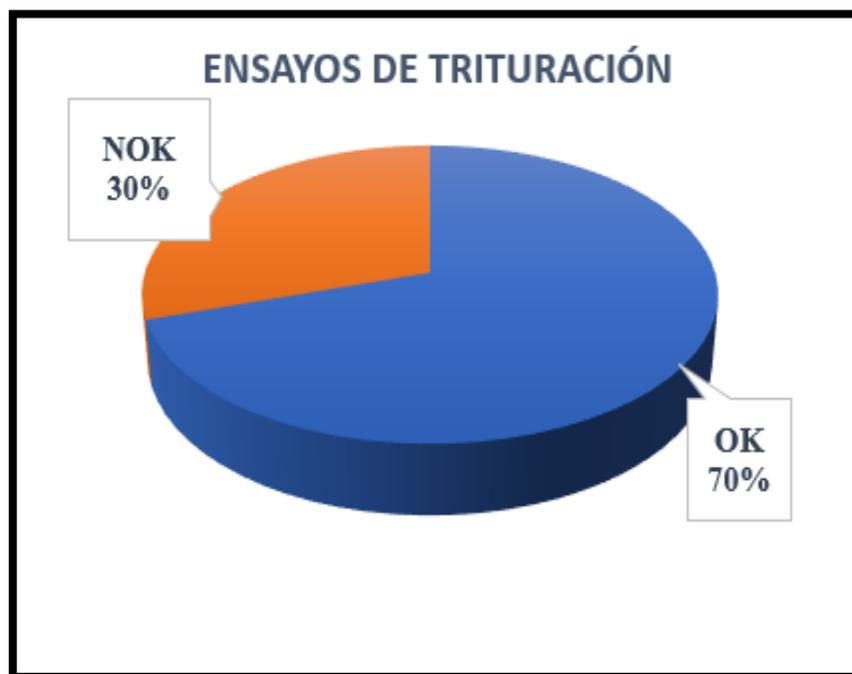
CÓDIGO	PRODUCTO	LOTE	# GRAN	OK	NOK
T112N8GI	Corralero Aves Crec Gra Co SP	492041	1645		X
T210NAGA	Pavos 0 Granulado Re Sp 45 Kg	490527	1572		X
T210NAGA	Pavos 0 Granulado Re Sp 45 Kg	491613	1563		X
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	490421	1761	X	
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	490532	1815	X	
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	490625	1432		X
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	490720	1563	X	
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	490848	1516	X	
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	490927	1672	X	
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	491085	1463		X
T131N1GB	Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	491197	1650	X	
T111N2GB	Engorde 1 Gra Co SP 40Kg	490853	1468	X	
T111N2GB	Engorde 1 Gra Co SP 40Kg	490922	1465	X	
T111N2GB	Engorde 1 Gra Co SP 40Kg	491087	1661	X	
T111N2GB	Engorde 1 Gra Co SP 40Kg	491199	1478	X	
T111N2GB	Engorde 1 Gra Co SP 40Kg	491276	1657	X	
T151N3G0	Pollona 0 HylNBwn Gra Pr SP	490341	1551	X	
T151N3G0	Pollona 0 HylNBwn Gra Pr SP	490932	1436	X	
T210NDGA	Pavos 0 Granulado Ensayo A 45 Kg	491615	1524	X	
T112N8GI	Corralero Aves Crec Gra Co SP	490929	1829	X	

**Tabla. 4.3. Implementación de ensayo de granulometría**

<b>CÓDIGO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>LOTE</b>	<b># GRAN</b>	<b>OK</b>	<b>NOK</b>
T112N8GI	Corralero Aves Crec Gra Co SP	491911	1993	X	
T112N8GI	Corralero Aves Crec Gra Co SP	492041	1730	X	
T130N1GB	Pollona 0 Pes Mig Re SP 40Kg	490419	1569	X	

Para la validación de resultados se tomaron varias muestras y lotes durante varios meses, ayudando a la validación de granulometrías de varios productos y obteniendo los cuadros de y ensayos con productos aceptables que benefician a la producción de alimento balanceado.

A continuación, se puede mostrar algunas evidencias estadísticas de productos obtenidos en productos granulados o triturados (Figura 4.41).

**Figura. 4.41. Implementación porcentual de ensayos de trituración**

Se observa un promedio de 30 muestras (Tabla 4.4), que son muestras tomadas por calidad de productos que tienen una aceptación de 70% OK y 30% NOK.

Tabla. 4.4. Implementación de resultados de granulometrías

ETIQUETAS DE FILA	Pruebas OK	Pruebas NOK
Cdos Fase 0 Gra Ens B SP 45Kg		1
Cdos Fase 0 Gra Re SP 45Kg	2	2
Corralero Aves Crec Gra Co SP	3	2
Engorde 1 Gra Co SP 40Kg	5	
Pavos 0 Granulado Ensayo A 45 Kg	1	
Pavos 0 Granulado Re Sp 45 Kg		2
Pollona 0 HylnBwn Gra Pr SP	2	
Pollona 0 Pes Mig Re SP 40Kg	2	
Pollona 1 Pes Gra Re SP 40Kg	6	2
<b>Total, general</b>	<b>21</b>	<b>9</b>

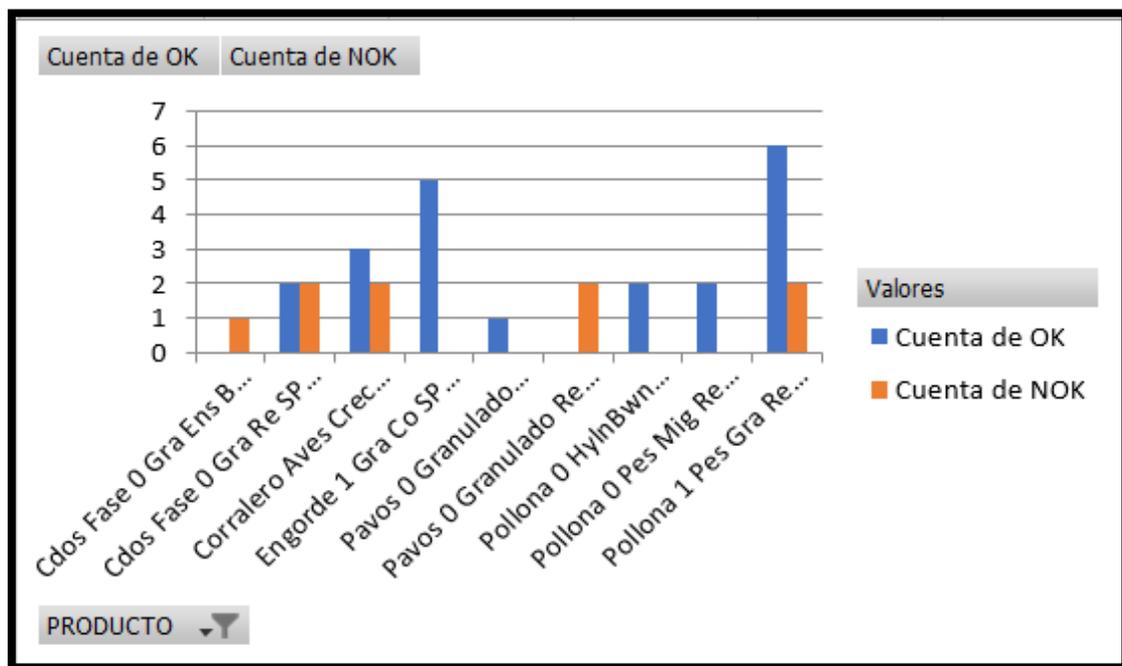


Figura. 4.42. Implementación de ensayos granulométrico por producto

Como se observa la validación del ensayo fue de 30 muestras de productos de alimento balanceado que se trituraron con un valor distinto de ensayo, para lo cual se analiza todas las

muestras y se saca una media aritmética de granulometrías que intervienen en los productos y son aceptados.

- Valor mínimo de granulometrías: 1363  $\mu\text{m}$
- Valor medio de granulometrías: 1601  $\mu\text{m}$
- Valor máximo de granulometrías: 1993  $\mu\text{m}$

Para la correcta observación de trabajo se puede validar que las granulometrías tienen un trabajo de 630 variables para todos los distintos productos que se producen en la planta Prona Pumbo (Figura 4.43).



**Figura. 4.43. Implementación ensayo 1 pollona 1 Pes Gra Re S**

En los ensayos se pudo validar varios productos que se trituraron y cambiaron sus granulometrías como se puede evidenciar (Figura 4.44).



**Figura. 4.44. Implementación ensayo 2 pollonas Pes Gra Re S**

## CONCLUSIONES

- Se desarrolló la implementación del control lineal de calibración del rodillo de trituración, operado y controlado desde la PC principal de operaciones de la planta Pronaca Puenbo.
- Se realizó la programación de automatización en el *software* Microllogix 5000 con el lenguaje de programación ladder en el área de trituración de la planta Pronaca-Puenbo.
- Se implementó una comunicación EtherNet/IP de uso industrial para la integración de los controladores de servomotores con el PLC Allen Bradley 5000 de la planta Pronaca Puenbo.
- Se diseñaron los entregables físicos y digitales, de los sistemas electromecánicos implementados en el molino triturador.
- Se implementó la arquitectura de comunicación y programación ladder en el molino de trituración de alimento granulado.
- Se realizaron las pruebas de validación con los distintos ensayos granulométricos aceptados por el departamento de producción, resultados aceptados en funcionalidad del equipo medido por sus granulometrías, con un 30% de pruebas NOK y 70% de OK con respecto al proceso productivo.

## RECOMENDACIONES

- Capacitar al personal que maniobra el equipo de trituración para garantizar una correcta funcionalidad del equipo.
- Implementar una lista de repuestos que garanticen la funcionalidad del equipo dentro de un plan preventivo de mantenimiento.
- bloquear la manipulación o calibración de los instrumentos electrónicos, por el personal que no está autorizado a manipular dichos equipos.
- Evitar procesos de soldadura junto al tablero de control del molino triturador ya que puede ocasionar el daño de los equipos electrónicos implementados.
- Establecer unas frecuencias de inspección y verificación de distancia entre rodillos de trituración con el fin de garantizar la calibración estándar del molino.
- Validar el reajuste de base servomotores para garantizar el correcto desplazamiento del rodillo.

## REFERENCIAS

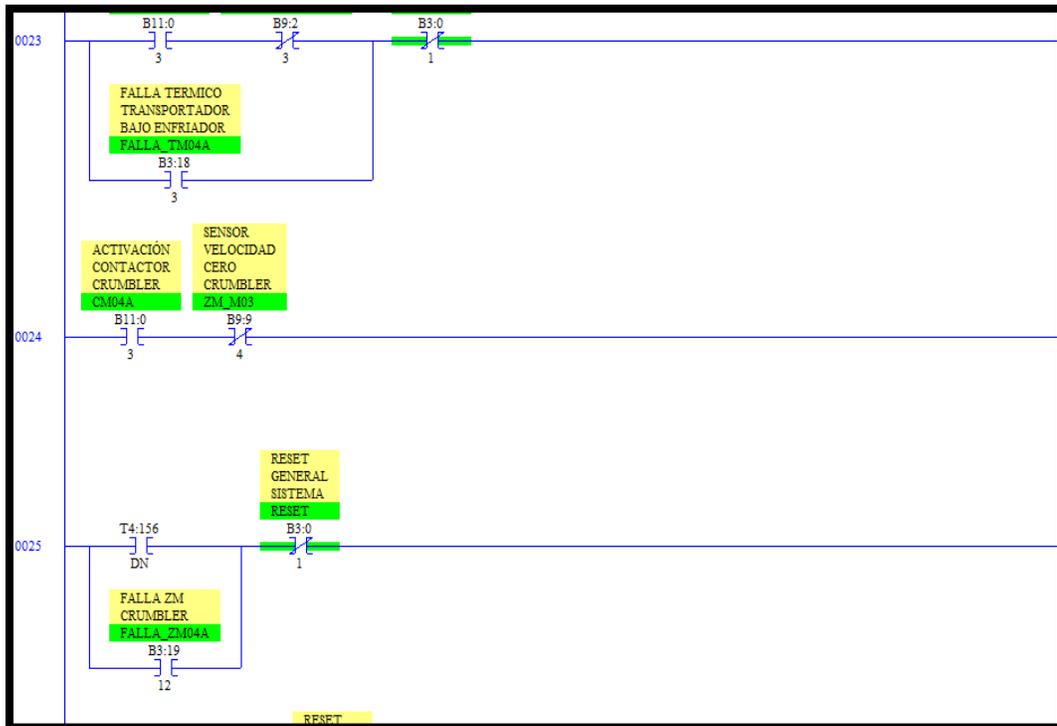
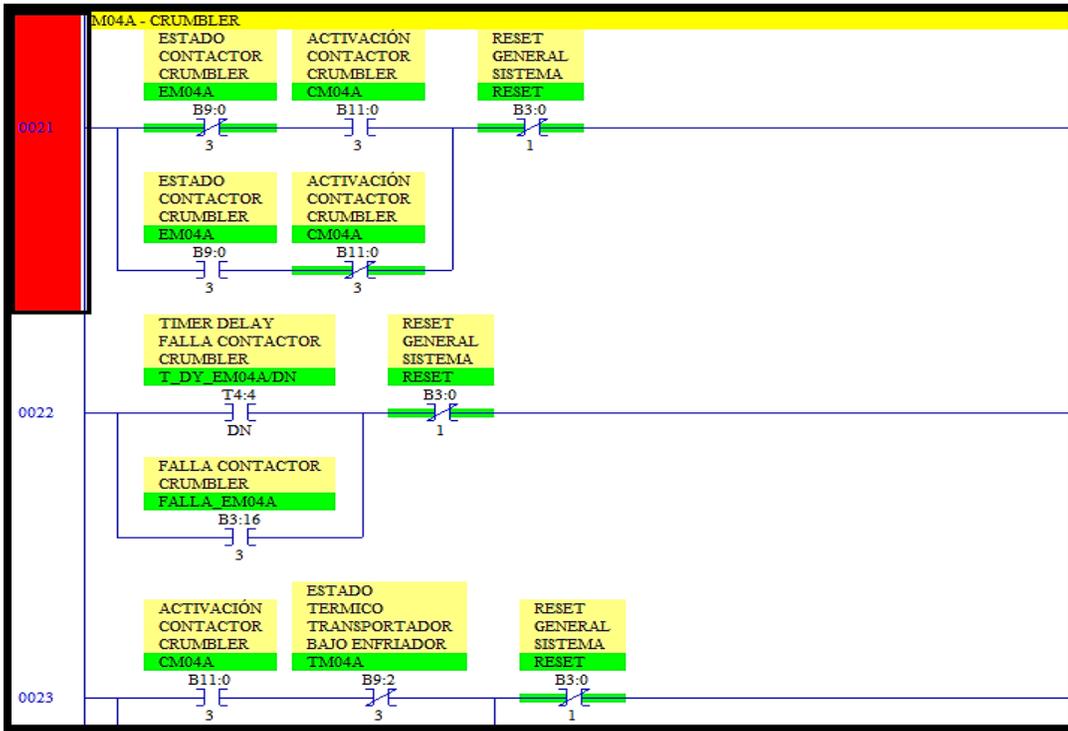
- Automatización. (Diciembre de 2001). *La automatización*. Obtenido de La automatización:  
[www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm)
- Balluff. (2013). *Daily automation*. Obtenido de [www.dailyautomation.sk/safety-over-io-link/](http://www.dailyautomation.sk/safety-over-io-link/)
- Banner. (2018). *IO-Link Sensors & lighting*. Obtenido de  
[www.bannerengineering.com/in/en/products/capabilities/io-link.html#all](http://www.bannerengineering.com/in/en/products/capabilities/io-link.html#all)
- Bernardo, S. (1994). *Soluciones industriales*. Obtenido de Soluciones industriales:  
[www.infaimon.com/](http://www.infaimon.com/)
- Bolton, W. (2011). *Programmable logic controller*. 4ta .
- Bradley, A. (2020). *Rockwell automation*. Obtenido de  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/Large-Control-Systems>
- Bulher, C. (03 de 02 de 1974). *Bulher*. Obtenido de Bulher:  
<https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/es/homepage.html>
- Cano, C. (2013). *repositorio tesis*. Obtenido de  
<http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/handle/usmp/602/cano>
- Carreto, V. F. (2014). *Automatización Industrial*. Obtenido de  
[www.slideshare.net/carretofernando/automatizacin-40747676](http://www.slideshare.net/carretofernando/automatizacin-40747676)
- Celera motion. (2020). *A novatan company*. Obtenido de  
[www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/sensores-inductivos-funcionan/](http://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/sensores-inductivos-funcionan/)
- Contaval. (1982). *CONTAVAL*. Obtenido de [www.contaval.es/productos/deteccion/sensores-inductivos/](http://www.contaval.es/productos/deteccion/sensores-inductivos/)
- Controladores Industriales Inteligentes*. (01 de 01 de 2011). Obtenido de Controladores Industriales Inteligentes:  
[www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_IS\\_E6\\_1\\_2.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_IS_E6_1_2.pdf)

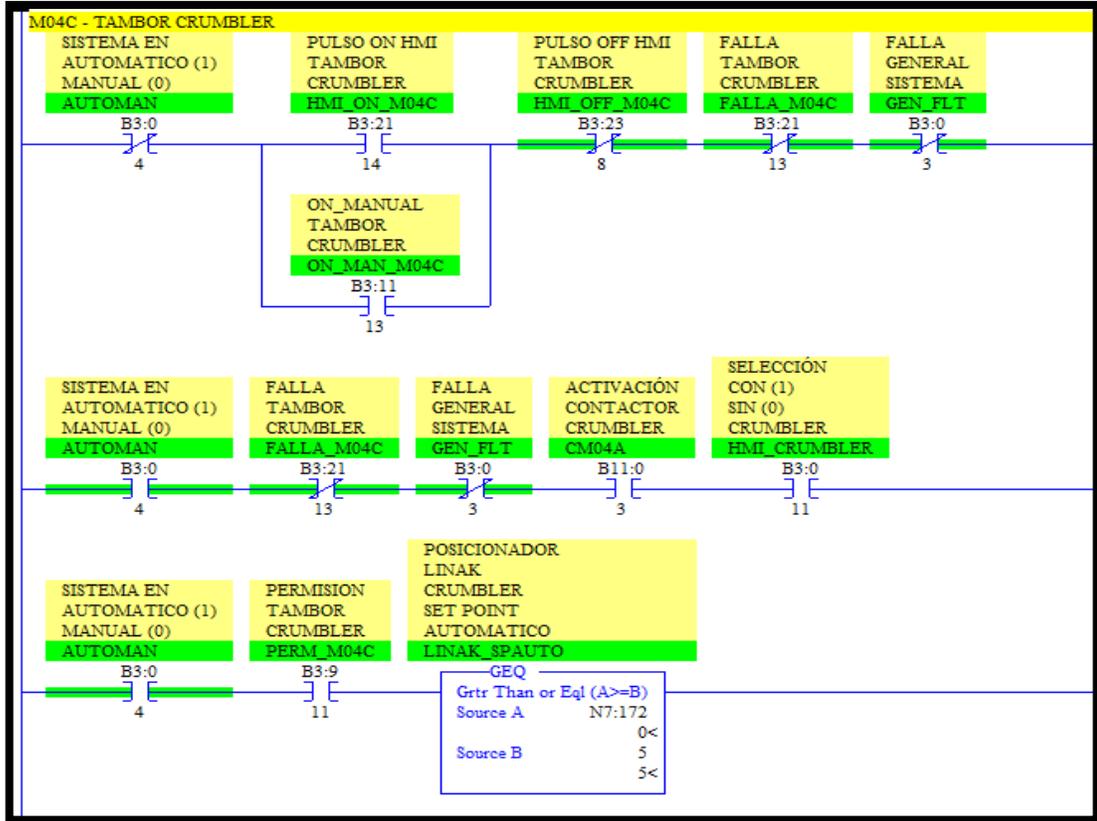
- Danicareva. (2014). *Festo*. Obtenido de [www.ep-solutions.rs/en/festo-rotary-actuator-ermo-16-st-e-3008526](http://www.ep-solutions.rs/en/festo-rotary-actuator-ermo-16-st-e-3008526)
- Díaz, I. M. (09 de 11 de 2009). *Teoría de control*. Obtenido de <http://teoriadecontrol.blogspot.com/2009/11/clasificacion-de-los-sistemas-de.html>
- Ecuainsetes. (1992). *ECUAINSETEC*. Obtenido de [ecuainsetec.com.ec/web/comunicación-io-link/](http://ecuainsetec.com.ec/web/comunicación-io-link/)
- Ecured. (2018). *Granulometrias*. Obtenido de [www.ecured.cu/Granulometr%C3%ADa#Granulometr.C3.ADa\\_de\\_los\\_agregados\\_finos](http://www.ecured.cu/Granulometr%C3%ADa#Granulometr.C3.ADa_de_los_agregados_finos)
- Ecured. (2019). Obtenido de Ecured: [www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia\\_cubana](http://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana)
- EPS. (2014). Obtenido de <https://www.ep-solutions.rs/en/festo-rotary-actuator-ermo-16-st-e-3008526201>
- Fezer, A. (1925). *Festo*. Obtenido de Festo: [www.festo.com](http://www.festo.com)
- Frank. (24 de 03 de 2017). *Lenguaje para programación de plc*. Obtenido de [www.ingmecafenix.com/?s=lenguaje+ladder](http://www.ingmecafenix.com/?s=lenguaje+ladder)
- Frank. (06 de 06 de 2018). *Diagrama de flujos*. Obtenido de [www.ingmecafenix.com/?s=DIAGRAMA+DE+BLOQUES](http://www.ingmecafenix.com/?s=DIAGRAMA+DE+BLOQUES)
- Frank. (14 de 10 de 2019). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/>
- García, A. (3 de 12 de 2016). *servomotores*. Obtenido de [panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/](http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/)
- González-Filgueira. (2008). *Automatización planta industrial*. Obtenido de <https://scholar.google.com.ec/scholar>
- Hcltech. (2020). *info plc*. Obtenido de [www.infopl.net/](http://www.infopl.net/)
- Ifm. (2017). *IO-link productos*. Obtenido de [www.tme.com/cl/es/details/hg-c1030-p/measurement-sensors/panasonic/](http://www.tme.com/cl/es/details/hg-c1030-p/measurement-sensors/panasonic/)
- Inductive automation*. (12 de 03 de 1990). Obtenido de Inductive automation: [www.inductiveautomation.com](http://www.inductiveautomation.com)
- Infaimon. (12 de 03 de 2018). *sensores industriales*. Obtenido de [blog.infaimon.com/sensores-industriales-automatización/](http://blog.infaimon.com/sensores-industriales-automatización/)

- Ivanbohman. (1995). *aceros*. Obtenido de [www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/705.pdf](http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/705.pdf)
- Pac. (2011). *controladores lógicos programables*. Obtenido de [www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_IS\\_E6\\_1\\_2.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_IS_E6_1_2.pdf)
- Panasonic. (2011). *sensores de distancia*. Obtenido de [www.tme.com/html/ES/sensores-laser-de-distancia-serie-hg-c/ramka\\_23497\\_ES\\_pelny.html](http://www.tme.com/html/ES/sensores-laser-de-distancia-serie-hg-c/ramka_23497_ES_pelny.html)
- Panasonic. (2018). *sensores de medición HG C*. Obtenido de [www.panasonic-electric-works.com/eu/hg-c-measurement-sensor.htm](http://www.panasonic-electric-works.com/eu/hg-c-measurement-sensor.htm)
- Pepperl+fuchs. (1945). *Maestro IO-LINK*. Obtenido de [www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid\\_6436.htm](http://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_6436.htm)
- Pérez, R. M. (2019). *Metodología de la investigación científica*. España: Factory Protrial.
- Programables, A. (diciembre de 2001). *Autómatas Programables*. Obtenido de [www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/index.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/index.htm)
- Sampieri. (20103). *Método de la investigación*. Obtenido de <https://www.google.com/search?sxsrf>
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México.
- Schedule. (1990). *Inductive automation*. Obtenido de <https://inductiveautomation.com/>
- Socconini, L. (2010). *Lean six sigma management system*. Barcelona España: ICG marge.
- Soriano, R. (1992). *Técnicas e instrumentos de investigación*. Obtenido de <https://www.google.com/search?sxsrf>
- Soriano, S. (1992). *formación de investigadores*. México.
- Tecnologías de control*. (2016). Obtenido de [Tecnologías de control: www.sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/sistema-de-control-manual.com](http://Tecnologías de control: www.sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/sistema-de-control-manual.com)
- TEM. (1999). Obtenido de [www.tme.eu/en/details/hg-c1030/measurement-sensors/panasonic/](http://www.tme.eu/en/details/hg-c1030/measurement-sensors/panasonic/)
- Victor. (27 de 03 de 2011). *Sistemas automatizados*. Obtenido de [es.scribd.com/doc/51656086/Que-es-un-sistema-automatizado](http://es.scribd.com/doc/51656086/Que-es-un-sistema-automatizado)
- Wiedemann. (27 de 02 de 2017). *IO-Link with Bilh*. Obtenido de [www.bihl-wiedemann.de/es/contacto/alemania.html](http://www.bihl-wiedemann.de/es/contacto/alemania.html)

## ANEXOS

ANEXO 1	Plano de implementación mecánica
ANEXO2	Plano de implementación eléctrica
ANEXO 3	Plano de implementación servomotor COM 1
ANEXO 4	Plano de implementación servomotor COM2
ANEXO 5	Plano de implementación CTEU
ANEXO 6	Plano de implementación maestro IO-link
ANEXOS 7	Programación Microllogix
ANEXO 8	Manual de configuración controladores CMMOS
ANEXO 9	Manual de operaciones molino triturador
ANEXO 10	Cronograma de actividades





# MANUAL DE CONFIGURACIÓN CONTROLADORES CMMOS

El primer paso es entender las palabras de control o bytes que comandan al controlador CMMO, siguiendo el manual tenemos estos dos tipos de datos de entrada y salida:

Selección de frase								
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	Byte 8
Datos O	CCON	CPOS	Número de frase	Reservado	Reservado			
Datos I	SCON	SPOS	Número de frase	RSB	Posición actual			

- CCON, CPOS, Numero de Frase son Bytes de control (Datos O: de salida) que comandan desde el PLC los parámetros del controlador CMMO
- SCON, SPOC, Numero de frase, RSB, Posición actual son bytes que envía el controlador al PLC (Datos I: de entrada) con información de funcionamiento.

Para poder comandar al controlador CMMO se debe primero tener claro la palabra de control de 8 bits CCON y CPOS que tienen la siguiente descripción:

Asignación de los bytes de control (resumen)								
<b>CCON</b> (Todos)	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B5</b>	<b>B4</b>	<b>B3</b>	<b>B2</b>	<b>B1</b>	<b>B0</b>
	<b>OPM2</b>	<b>OPM1</b>	<b>LOCK</b>	–	<b>Reset</b>	<b>BRAKE</b>	<b>STOP</b>	<b>ENABLE</b>
	Selección del modo de funcionamiento FHPP		Bloquear el acceso FCT	–	Validar fallo	Soltar freno	Parada	Habilitar accionamiento
<b>CPOS</b> (Todos)	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B5</b>	<b>B4</b>	<b>B3</b>	<b>B2</b>	<b>B1</b>	<b>B0</b>
	–	<b>CLEAR</b>	<b>TEACH</b>	<b>JOGN</b>	<b>JOGP</b>	<b>HOM</b>	<b>START</b>	<b>HALT</b>
	–	Borrar recorrido remanente	Programar valor por teach-in	Actuación secuencial negativa	Actuación secuencial positiva	Iniciar recorrido de referencia	Iniciar tarea posicionamiento	Pausa
<b>CDIR</b> (Tarea directa)	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B5</b>	<b>B4</b>	<b>B3</b>	<b>B2</b>	<b>B1</b>	<b>B0</b>
	–	–	<b>XLIM</b>	–	–	<b>COM2</b>	<b>COM1</b>	<b>ABS</b>
	–	–	Valor límite de carrera desactivado.	–	–	Modo de control (posición, fuerza, velocidad, ...)		Ab-soluto/ relativo

El bit 0 (**B0**) del byte CCON (Palabra de control de 8 bits) comanda la habilitación del controlador CMMO. Estas palabras o bytes de control se deben asignar en el PLC al momento de añadir el archivo EDS de comunicación del equipo CTEU.

De igual forma se tiene la palabra de supervisión de 8 bits SCON. Este es un byte que realiza una asignación de recibo de los datos enviados y se utiliza para verificar el estado del controlador CMMO. Como ejemplo el B0 (enable) de la palabra SCON indica si el controlador CMMO.

<b>Asignación de los bytes de estado (resumen)</b>								
<b>SCON</b> (Todos)	<b>B7</b> <b>OPM2</b>	<b>B6</b> <b>OPM1</b>	<b>B5</b> <b>FCT/MMI</b>	<b>B4</b> <b>VLOAD</b>	<b>B3</b> <b>FAULT</b>	<b>B2</b> <b>WARN</b>	<b>B1</b> <b>OPEN</b>	<b>B0</b> <b>ENABLED</b>
	Acuse de recibo de modo de funcionamiento FHPP		Control del equipo FCT	Tensión de carga aplicada	Fallo	Advertencia	Funcionamiento habilitado	Accionamiento habilitado
<b>SPOS</b> (Todos)	<b>B7</b> <b>REF</b>	<b>B6</b> <b>STILL</b>	<b>B5</b> <b>FOLERR</b>	<b>B4</b> <b>MOV</b>	<b>B3</b> <b>TEACH</b>	<b>B2</b> <b>MC</b>	<b>B1</b> <b>ACK</b>	<b>B0</b> <b>HALT</b>
	Accionamiento referenciado	Supervisión de reposo	Error de seguimiento	El eje se mueve	Validación programación tipo teach-in o muestreo	Motion Complete	Validación de arranque	Pausa
<b>SDIR</b> (Tarea directa)	<b>B7</b> -	<b>B6</b> -	<b>B5</b> <b>XLIM</b>	<b>B4</b> <b>VLIM</b>	<b>B3</b> -	<b>B2</b> <b>COM2</b>	<b>B1</b> <b>COM1</b>	<b>B0</b> <b>ABS</b>
	-	-	Límite de carrera alcanzado	Límite velocidad alcanzado	-	Acuse de recibo modo de control (posición, fuerza, velocidad)		Absoluto/relativo

Para poder mover al servomotor la secuencia que se debe cumplir el siguiente procedimiento.

- 1.- activar B0 (enable) de byte CCON.
- 2.- verificar con B0 (enable) de SCON que se haya activado el controlador CMMO.
- 3.- Activar bit B5 de CCON para bloquear el control del software Festo Configurativo Tool.

4.- verificar con B5 de SCON que se haya activado el bit de bloqueo de FCT en el CMMO.

5.- Activar B1 (stop) y B2 (breake) de CCON para quitar la activación de paro y freno.

<b>B1 STOP</b>	Parada	<b>Stop</b>	= 1: Desbloquear funcionamiento.
			= 0: STOP activo (interrumpir tarea de posicionamiento + parada). El accionamiento se detiene con deceleración <b>Quick Stop</b> , la tarea de posicionamiento se restablece.
<b>B2 BRAKE</b>	Soltar freno	Open <b>Brake</b>	= 1: Soltar freno.
			= 0: Activar freno.
			Nota: Solo es posible soltar el freno cuando el controlador está bloqueado. En cuanto el controlador está desbloqueado, éste tiene prioridad sobre el control del freno.

6.- Activar bit B0 (halt) de CPOS para quitar la pausa del movimiento:

Byte de control 2 (CPOS)			
Bit	ES	EN	Descripción
<b>B0 HALT</b>	Pausa	<b>Halt</b>	= 1: No se solicita pausa.
			= 0: Pausa activada (interrumpir tarea de posicionamiento). El eje se detiene con la rampa de frenada definida. En el modo de posicionamiento la tarea de posicionamiento permanece activa (pausa intermedia), la tarea se puede reanudar con CPOS.START o finalizar con CPOS.CLEAR. En los modos de velocidad/modo de fuerza la tarea finaliza.
<b>B1 START</b>	Iniciar tarea de posicionamiento	<b>Start</b> Positioning Task	Mediante un <b>flanco ascendente</b> se aceptan los valores nominales actuales y se inicia una tarea de posicionamiento.
<b>B2 HOM</b>	Iniciar recorrido de referencia	<b>Start Homing</b>	Mediante un <b>flanco ascendente</b> se inicia el recorrido de referencia con los parámetros ajustados.

7.- Activar B2 de CPOS para activar Homming.

8.- Activar B1 de CPOS para ejecutar Homming.

9.- Se puede activar B3 o B4 de CPOS para realizar Jog y verificar que esté funcionando el control.

Resumen de parámetros e I/Os con tarea directa en modo de posición		
Parámetros involucrados	Parámetros	PNU
Modo directo FHPP → B.4.13	Valores nominales/efectivos de FHPP	523
	Ajustes del modo directo FHPP	524
Modo directo posición → B.4.15	Valor base de la velocidad <sup>1)</sup>	540
	Aceleración	541
	Deceleración	542
	Sacudida aceleración	543
	Masa	544
	Sacudida deceleración	547
	Velocidad final	548
	Error de seguimiento (modo directo posición)	549
	Modo directo FHPP general → B.4.18	Limitación del momento (no en modo de fuerza)
Retardo de arranque		582
Condición de arranque		583
<b>Arranque (FHPP)</b>	CPOS.START = Flanco ascendente: Arranque	
	CDIR.ABS = Valor nominal absoluto/relativo	
	CDIR.COM1/2 = Modo de control → Sección 5.3	
<b>Acuse de recibo (FHPP)</b>	SPOS.MC = 0: Motion Complete	
	SPOS.ACK = Flanco ascendente: Validación de arranque	
	SPOS.MOV = 1: El accionamiento se mueve	
<b>Condición previa</b>	Control del equipo mediante el control/bus de campo	
	Controlador de motor en el estado "Funcionamiento habilitado"	

Es decir, activar los bits de start en byte CPOS, seleccionar el bit de movimiento absoluto o relativo en el byte CDIR y modo de posición bits COM1 y COM2 en 0

# MANUAL DE OPERACIÓN MOLINO TRITURADOR

## Operación de mantenimiento

El mantenimiento del equipo está a cargo del área de mantenimiento con las siguientes actividades:

- Calibración manual de distancia de rodillos rango tolerable 1.5 mm entre rodillos de trituración esta actividad se lo debe realizar con frecuencia de 4 meses.
- Verificación de ajuste de borneras y limpieza tablero eléctrico esta actividad se lo debe realizar con frecuencia de 12mese a partir de la entrega formal del equipo.

## Operación por usuario

El equipo se lo puede poner en marcha por distintos operadores en las siguientes condiciones de operación.

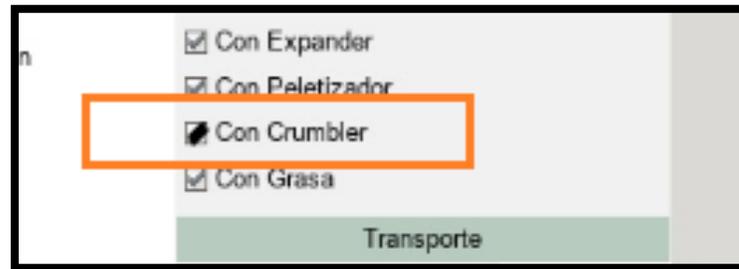
## Modo baypass

En modo baypass el equipo trabaja de manera directa, el producto circula sin pasar por los rodillos de trituración, este procedimiento se lo realiza con productos que no necesitan ser triturados por el molino, como muestra, no se debe elegir la **opción sin clumber**.

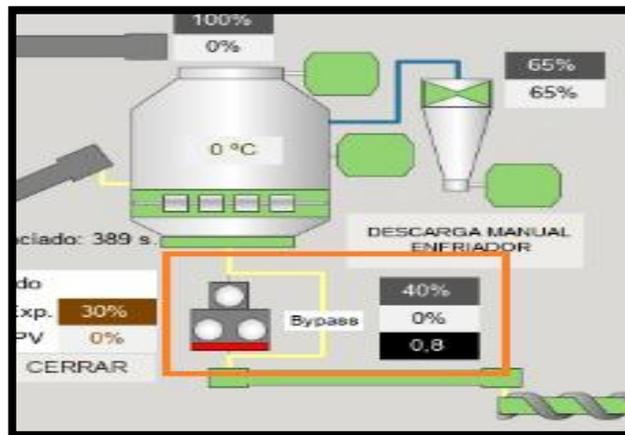


## Modo molino triturador

En este proceso tiene el modo de trituración, para ello se debe configurar de la siguiente manera



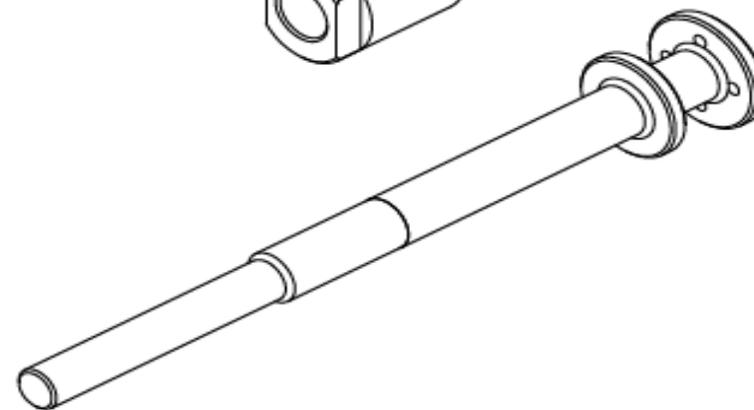
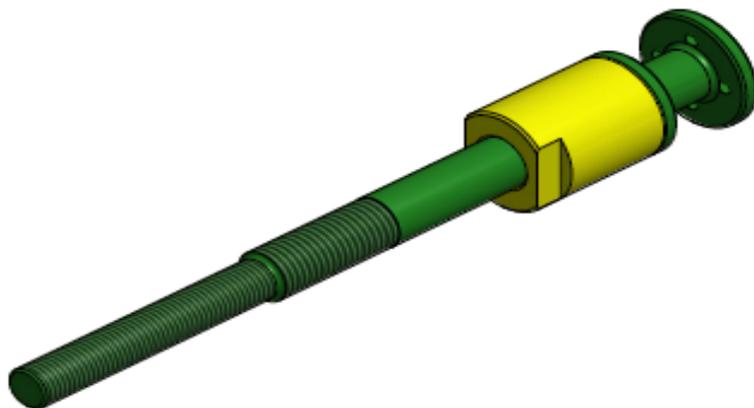
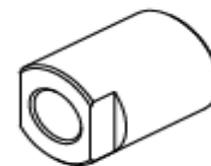
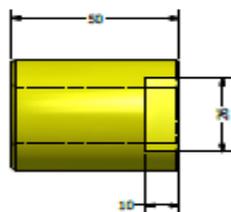
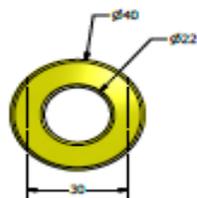
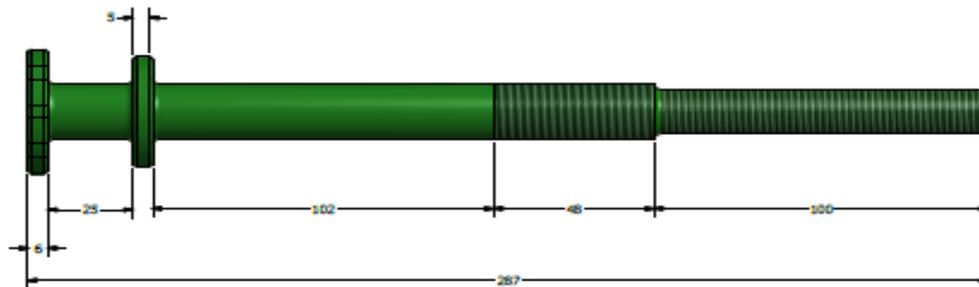
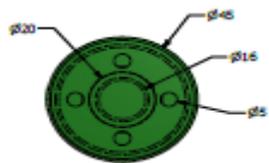
Al resaltar el modo clumber el equipo está listo para triturar el valor el valor de apertura la pone el operador en la pantalla de configuración molino, el valor a ser ingresado es siempre en porcentajes, el usuario con la experiencia de operación decide poner el valor por lo general el porcentual de apertura en recomendado 30%



El equipo comienza a trabajar de manera regular con trituración el operador continuo con el monitoreo de los demás equipos de producción, el operador puede realizar el muestre en el equipo.

El equipo cuenta con toma muestra instalados para verificar la simetría en la trituración en el equipo esta actividad la puede realizar en proceso de producción normal sin detener la producción.

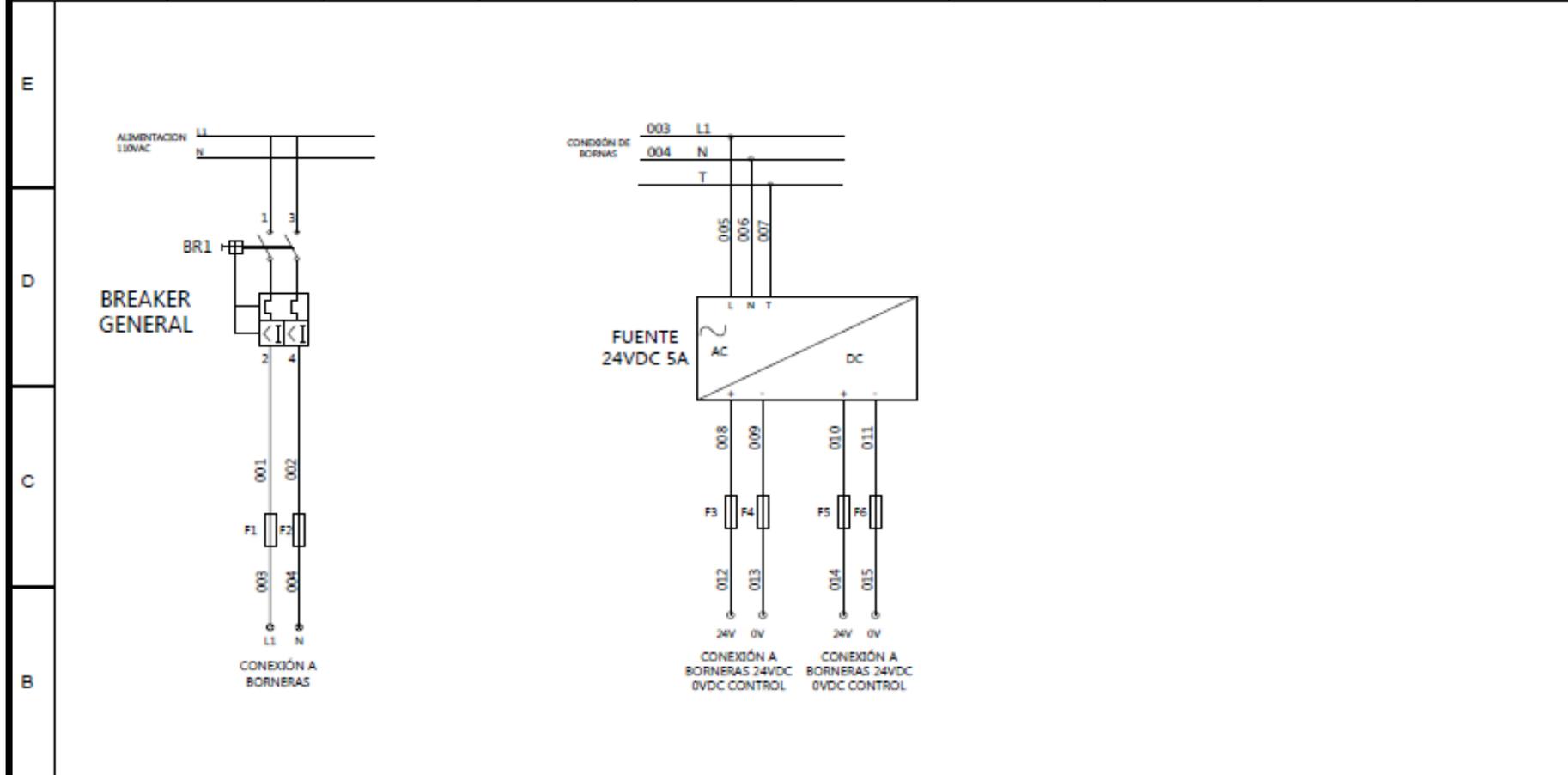




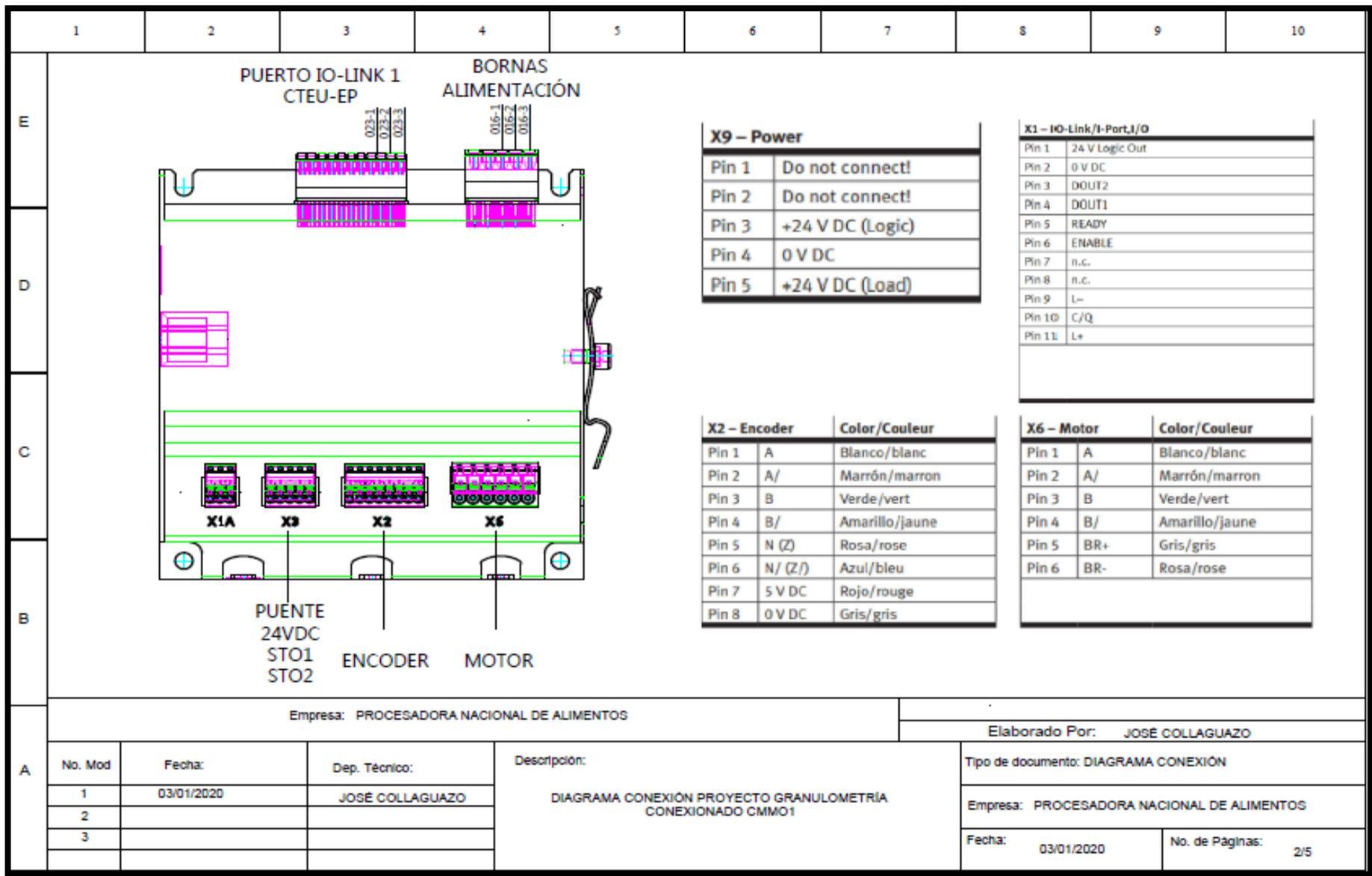
PROYECTO TITULACIÓN PRONACA PUEMBO	
AUTOR: JOSÉ COLLAGUAZO	
APROBADO: ANGEL CHAVEZ	
ESCALA:	FECHA: 2020

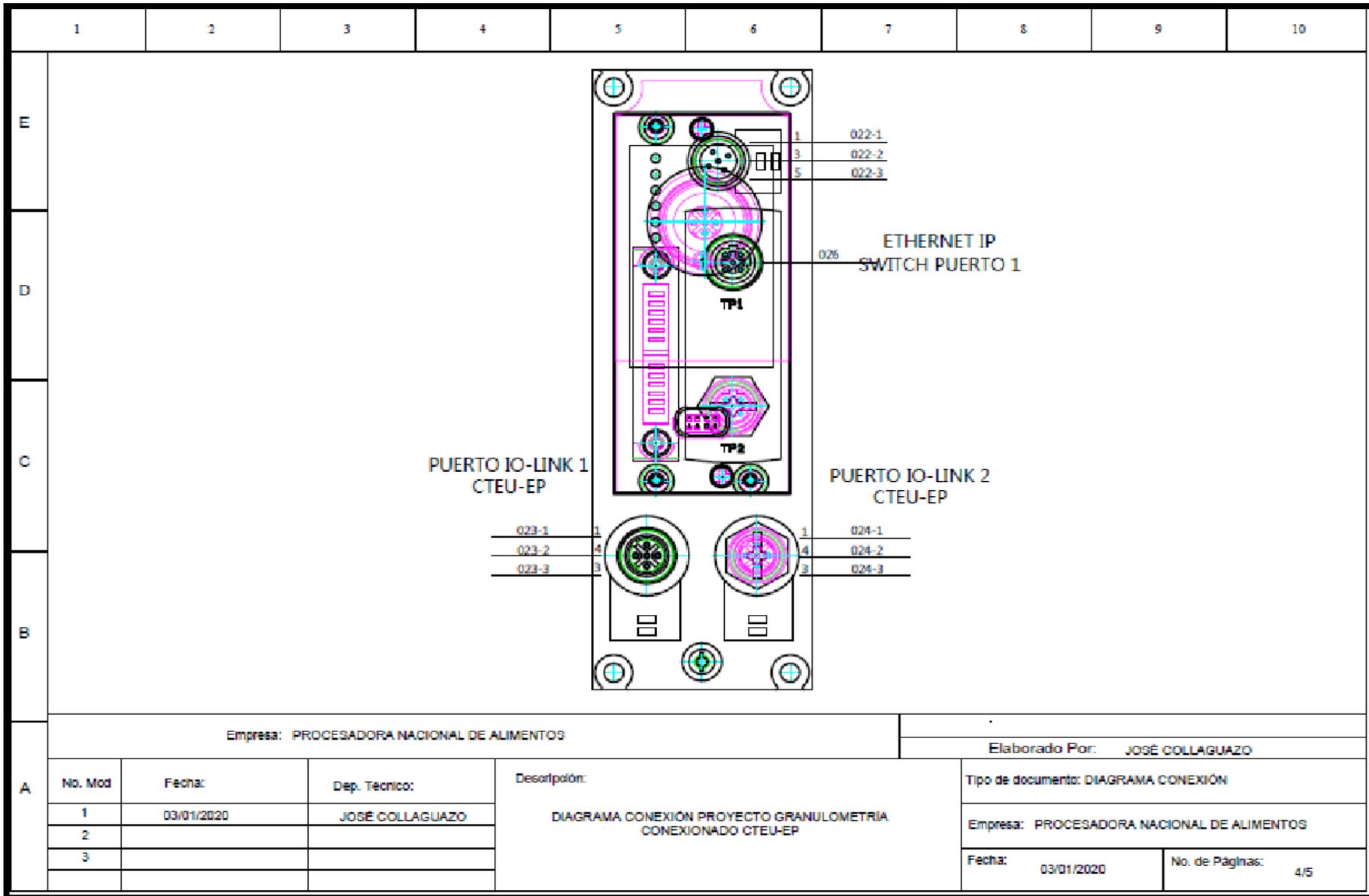


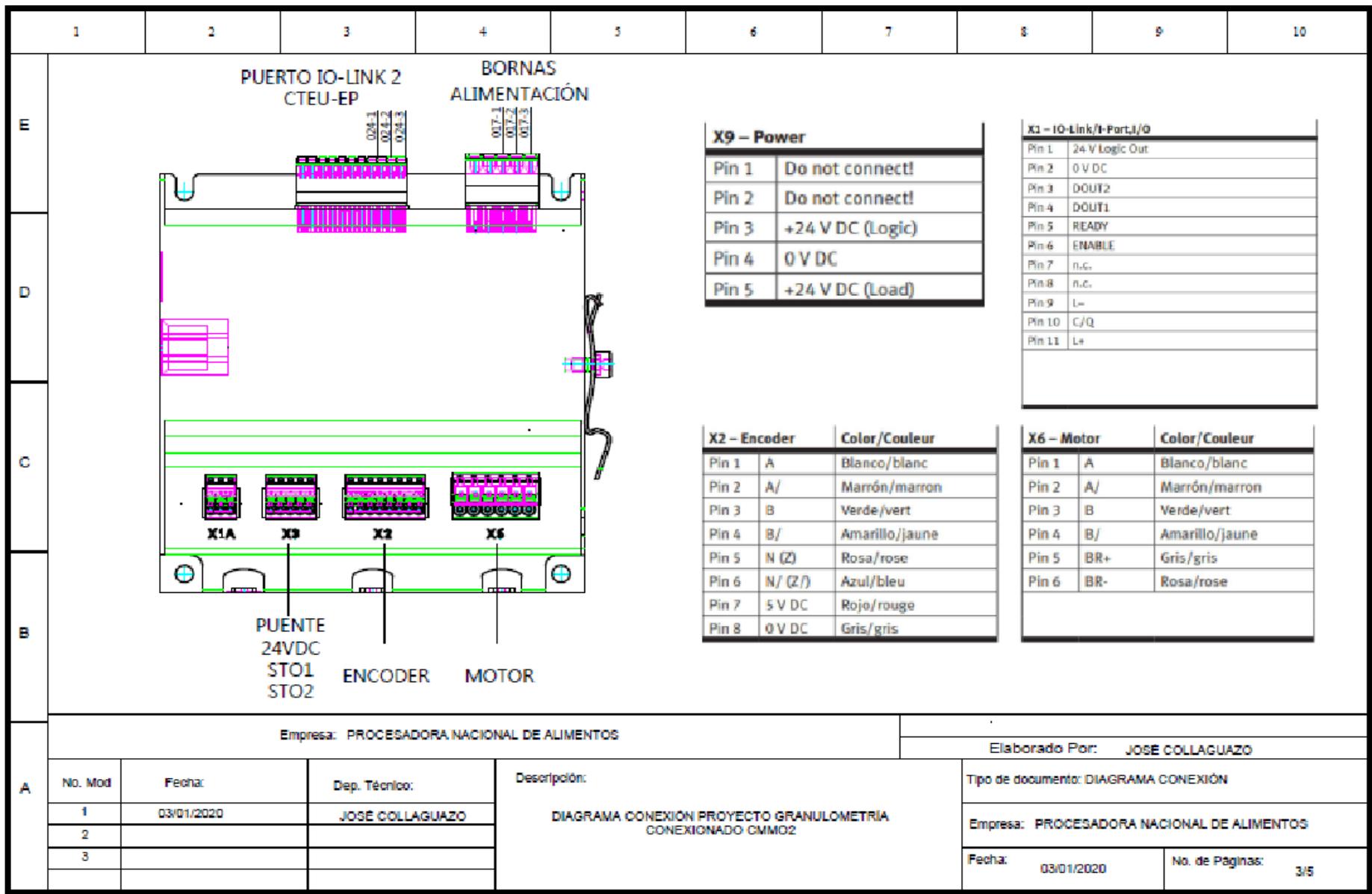
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



PROCESADORA NACIONAL DE ALIMENTOS				Elaborado Por: JOSÉ COLLAGUAZO			
A	No. Mod	Fecha:	Dep. Técnico:	Descripción: DIAGRAMA CONEXIÓN PROYECTO GRANULOMETRÍA ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA			
	1	03/01/2020	JOSÉ COLLAGUAZO			Tipo de documento: DIAGRAMA CONEXIÓN	
	2					Empresa: PROCESADORA NACIONAL DE ALIMENTOS	
	3					Fecha: 03/01/2020      No. de Páginas: 1/5	







X9 – Power	
Pin 1	Do not connect!
Pin 2	Do not connect!
Pin 3	+24 V DC (Logic)
Pin 4	0 V DC
Pin 5	+24 V DC (Load)

X1 – IO-Link/1-Port,I/O	
Pin 1	24 V Logic Out
Pin 2	0 V DC
Pin 3	DOUT2
Pin 4	DOUT1
Pin 5	READY
Pin 6	ENABLE
Pin 7	n.c.
Pin 8	n.c.
Pin 9	L-
Pin 10	C/Q
Pin 11	L+

X2 – Encoder		
Pin 1	A	Blanco/blanc
Pin 2	A/	Marrón/marron
Pin 3	B	Verde/vert
Pin 4	B/	Amarillo/jaune
Pin 5	N (Z)	Rosa/rose
Pin 6	N/ (Z/)	Azul/bleu
Pin 7	5 V DC	Rojo/rouge
Pin 8	0 V DC	Gris/gris

X6 – Motor		
Pin 1	A	Blanco/blanc
Pin 2	A/	Marrón/marron
Pin 3	B	Verde/vert
Pin 4	B/	Amarillo/jaune
Pin 5	BR+	Gris/gris
Pin 6	BR-	Rosa/rose

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

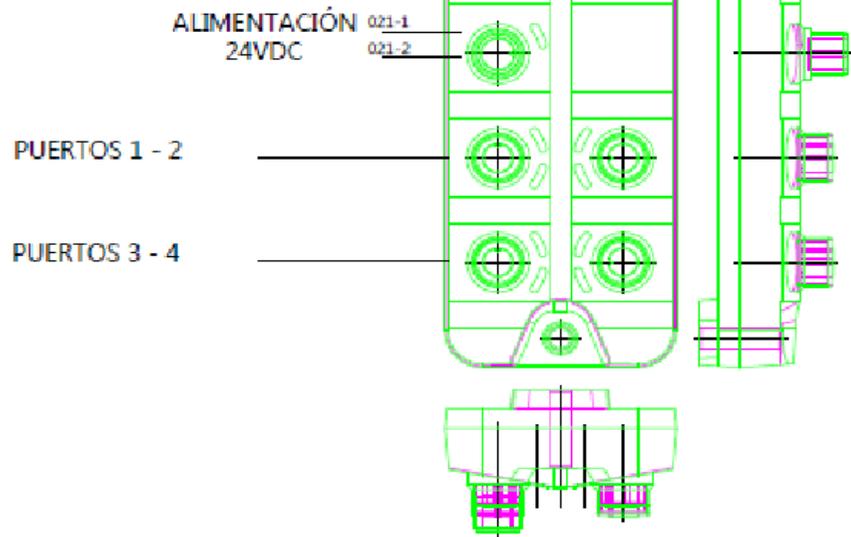
E

D

C

B

ETHERNET IP  
SWITCH PUERTO 5



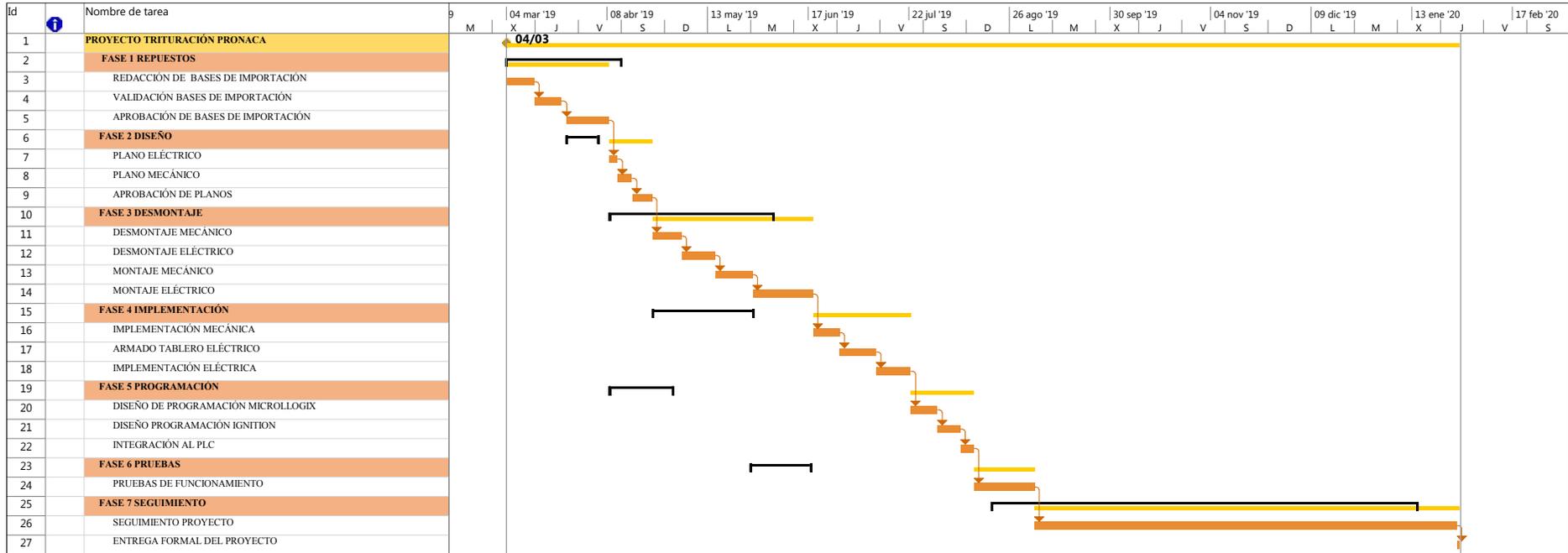
Empresa: PROCESADORA NACIONAL DE ALIMENTOS

Elaborado Por: JOSÉ COLLAGUAZO

A

No. Mod	Fecha:	Dep. Técnico:	Descripción:
1	03/01/2020	JOSÉ COLLAGUAZO	DIAGRAMA CONEXIÓN PROYECTO GRANULOMETRÍA CONEXIONADO MAESTRO IO-LINK.
2			
3			

Tipo de documento: DIAGRAMA CONEXIÓN	
Empresa: PROCESADORA NACIONAL DE ALIMENTOS	
Fecha: 03/01/2020	No. de Páginas: 5/5



Proyecto: Proyecto1.mpp	Tarea		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Fecha limite	
	División		Tarea inactiva		solo duración		solo fin		Progreso	
	Hito		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas		Progreso manual	
	Resumen		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo			

feb '20 | 23 mar '20 | 27 abr '20 | 01 jun '20 | 06 jul '20 | 10 ago '20 | 14 sep '20 | 19 oct '20 | 23 nov '20 | 28 dic '20 | 01 feb '21 | 08 mar '21 | 12 abr '21 | 17 may '21 | 21 jun '21 | 26 jul '21



Proyecto: Proyecto1.mpp	Tarea		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Fecha limite	
	División		Tarea inactiva		solo duración		solo fin		Progreso	
	Hito		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas		Progreso manual	
	Resumen		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo			