



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

**AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE UNA MÁQUINA
TRITURADORA DE PLÁSTICO A UNA RED DE COMUNICACIÓN
INDUSTRIAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: JOSÉ LUIS NAGUA TANDAZO
JENNIFER PAOLA SUMBA SUCUZHAÑAY
TUTOR: ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ, M.SC. PH.D.

Cuenca – Ecuador

2023

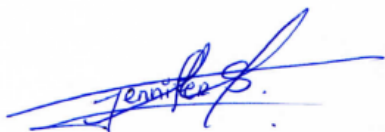
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Luis Nagua Tandazo con documento de identificación N° 0104748942 y Jennifer Paola Sumba Sucuzhañay con documento de identificación N° 0106204985; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 04 de agosto del 2023

Atentamente,



Jennifer Paola Sumba Sucuzhañay
0106204985



José Luis Nagua Tandazo
0104748942

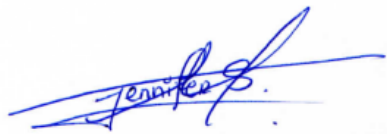
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jennifer Paola Sumba Sucuzhañay con documento de identificación N° 0106204985 y José Luis Nagua Tandazo con documento de identificación N° 0104748942, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica / Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de agosto del 2023

Atentamente,



Jennifer Paola Sumba Sucuzhañay
0106204985



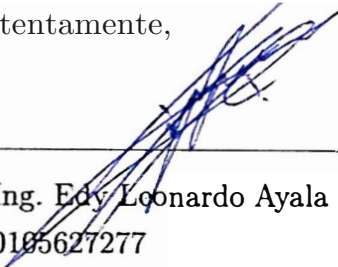
José Luis Nagua Tandazo
0104748942

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edy Leonardo Ayala Cruz con documento de identificación N° 0105627277, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO A UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL", realizado por Jennifer Paola Sumba Sucuzhañay con documento de identificación N° 0106204985 y Jose Luis Nagua Tandazo con documento de identificación N° 0104748942 , obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz MSc. PhD.
0105627277

Dedicatoria

Jennifer Paola

El presente proyecto de titulación está dedicado a todas las personas que creyeron en mí, principalmente a mis tíos Xavier y Miriam, quienes con su paciencia, dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional, han estado presente y me han ayudado a cumplir con este objetivo y a mi ángel Jacky.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo cada día en este proceso.

José Luis

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, quienes me apoyaron en cada etapa de la Universidad y desde un inicio creyeron en mí.

A mis hermanos Pablo, Johanna y sobre todo a mi hermana Mery quien me apoyo y estuvo en los momentos más difíciles.

Finalmente, dedico a todos mis amigos y profesores, los cuales formaron parte del camino hacia el título académico.

Agradecimientos

Jennifer Paola

Agradezco primeramente a Dios, quien me ha permitido finalizar otra etapa en mi vida, dándome fortaleza y guía en este proceso.

Agradezco profundamente a mis tíos que, gracias al cariño recibido, apoyo, paciencia y comprensión he logrado culminar esta meta, por siempre alentarme y guiarme.

A cada uno de mis amigos, que con su compañía y ayuda a lo largo de este proceso hicieron de esta etapa una de las mejores.

También me gustaría agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. Edy Ayala; por su tiempo y dedicación brindados al actual trabajo de titulación, a cada uno de mis docentes, quienes como personas han sabido brindarme su apoyo, ayuda y conocimientos a lo largo de este proceso.

También quiero agradecer a la empresa PROELECTRONIC quienes nos abrieron sus puertas y confiaron en nosotros, dándonos su apoyo y ayuda total en este proyecto.

José Luis

A mis queridos padres Rosa y Porfirio quiero expresarles mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de mi vida académica. Gracias por estar a mi lado en cada paso del camino y por creer en mí, incluso cuando yo dudaba de mis propias capacidades. Su amor y sacrificio han sido la fuerza impulsora detrás de mis logros y estoy eternamente agradecido por tener unos padres tan maravillosos como ustedes.

A mi querida hermana Mery, por su apoyo incondicional y cariño a lo largo de esta carrera Universitaria. Sus palabras de aliento y consejos me han impulsado a seguir adelante incluso cuando los desafíos parecían difíciles.

A la empresa Proelectronic, quienes confiaron en nosotros y permitieron realizar el presente proyecto de titulación en su empresa.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a nuestro tutor de tesis el Ing. Edy Ayala, sus conocimientos, paciencia y apoyo han sido invaluable en cada etapa de este proceso académico.

Finalmente, a novia quiero expresar mi profundo agradecimiento por estar a mi lado durante estos dos últimos años en este proceso de tesis. Tu apoyo incondicional, amor y aliento han sido parte mi éxito en este desafío académico.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	3
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	3
2.4.3. Sectorial o institucional	3
2.5. Problema general	4
2.6. Problemas específicos	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco Teórico	5
4.1. Industria del reciclaje	6
4.1.1. Fase de fragmentación: triturado	8
4.2. Maquinaria de trituración	9

4.2.1. Trituradora de cuchillas	10
4.3. Automatización industrial	11
4.3.1. Estructura de procesos automatizados	11
4.3.2. Guía de procesos de producción	13
4.4. Periféricos en la automatización	16
4.4.1. PLC marca Siemens s7-1200	17
4.4.2. Motor trifásico	19
4.4.3. Variador de frecuencia	22
4.4.4. Dispositivos de entrada	27
4.4.5. Sistemas de monitoreo	28
4.5. Redes industriales	30
4.5.1. Profibus	31
4.5.2. Profinet	32
4.5.3. Modbus	33
4.5.4. Topología de red	33
5. Marco Metodológico	34
5.1. Planificación	34
5.2. Diseño e implementación	44
5.2.1. Topología de red	44
5.2.2. Dispositivos en red y programación	46
5.2.3. Programación del variador de frecuencia sinamics G120- CU240E-2 PN	47
5.3. Regulación del motor	58
5.3.1. Regulación de la velocidad del motor	58
5.4. Diseño interfaz gráfica	59
6. Resultados	65
7. Conclusiones	70
8. Recomendaciones	71
9. Cronograma y actividades	72
10. Presupuesto	73
10.1. Talento humano	73
10.2. Recursos materiales	73

Referencias

76

ANEXOS

77

Lista de Tablas

1.	Propiedades del material PET	9
2.	Puertos y protocolos de la capa de transporte del PLC S7-1200	18
3.	Características de protocolos Profibus-Profinet	32
4.	Características de un molino de trituración de 2 ejes	35
5.	Características de un molino de trituración de 4 cuchillas	35
6.	Máquina trituradora de plástico con capacidad de 5KG/h	36
7.	Parámetros considerados en el proceso de trituración	37
8.	Características del motor siemens utilizado para pruebas.	38
9.	Características del variador G120 de siemens aplicado	39
10.	Telegrama de comunicación 352	53
11.	Abreviaturas	54
12.	Botones de acceso en la venta principal	60
13.	Parámetros visualizados en la ventana de parámetros de red	61
14.	Parámetros y botones para el estado del motor	63
15.	Parámetros y botones para el mando del motor	64
16.	Tiempo de envío y recepción de datos mediante red	67
17.	Datos obtenidos con una velocidad de 1200 rpm	67
18.	Parámetros obtenidos mediante la red observados en el HMI.	70
19.	Cronograma de actividades.	72
20.	Presupuesto de talento humano	73
21.	Recursos materiales	73
22.	Matriz de consistencia	78

Lista de Figuras

1.	Ubicación de la empresa PROELECTRONIC	4
2.	Esquema genérico del proceso de reciclaje de plásticos	7
3.	Máquina trituradora de plástico genérica a automatizar	11
4.	Esquema de los niveles de automatización en la industria	12
5.	Esquema de pasos basados en la Guía GEMMA para la automatización. . .	14
6.	Esquema de los módulos de la guía GEMMA	15
7.	Representación de la guía GEMMA	16
8.	Variador de frecuencia de Siemens sinamics G120	24
9.	Parámetros de control U/f con característica lineal	26
10.	Distribución eléctrica con aplicación del variador siemens G120	27
11.	Medidor de energía sentron PAC 3200	29
12.	Representación del proceso de automatización mediante la guía GEMMA . .	40
13.	Diagrama de secuencia del proceso programado al PLC	42
14.	Diagrama GRAFCET para el sistema de seguridad propuesto	43
15.	Diagrama de topología de red propuesto	44
16.	Panel de control utilizado para el accionamiento manual de la máquina . . .	45
17.	Topología de red aplicada en TIA Portal	46
18.	Diagrama de configuración manual del dispositivo sentron PAC3200	47
19.	Configuración del tipo de acceso al variador	48
20.	Prueba de conexión con el variador de frecuencia	49
21.	Reconocimiento de equipos en línea	50
22.	Consigna del tipo de regulación del motor	51
23.	Configuración de entradas y salidas mediante bus de campo	52
24.	Configuración del telegrama para la comunicación	54
25.	Telegramas de comunicación del variador	55
26.	Parámetros de configuración del variador Sinamics G120 de la marca Siemens	56
27.	Parámetros de referencia en el bloque de comunicación del variador	57
28.	Estados del variador previo al arranque del motor	58
29.	Diseño de la interfaz del HMI	60
30.	Ventana de parámetros de red	61
31.	Ventana del estado del motor	62
32.	Ventana de mando en el HMI	63
33.	Ventana de fallos en el HMI	65

34.	Recepción/envío telegramas ANYBUS	66
35.	Resultado de obtención de parámetros	68
36.	Parámetro de frecuencia medido	69

Resumen

El presente trabajo de titulación se centra en el estudio de una máquina trituradora estándar aplicada en el proceso de reciclaje con el objetivo de mejorar su eficiencia, seguridad y productividad mediante la conexión de un sistema de monitoreo de última generación a través de redes industriales.

En primer lugar, se realiza una revisión de la literatura sobre sistemas de control y automatización industrial utilizados actualmente en maquinaria de trituración para el material Tereftalato de polietileno (PET), analizando los avances tecnológicos recientes y las mejores prácticas en la industria, de manera que permitan identificar oportunidades de mejora y soluciones adecuadas para la maquinaria.

En segundo lugar, el diseño de la solución implica la instalación de sensores y actuadores en la trituradora para monitorear su estado, se analiza la parte mecánica y eléctrica, identificando los puntos críticos que requieren control para garantizar la seguridad operacional.

En tercer lugar, se diseña la topología de red para Profinet y Modbus, seleccionando un Controlador Lógico Programable (PLC) adecuado, un analizador de energía eléctrica, sensores para el control de temperatura y la posición del eje del motor.

Cuarto, se configura el PLC y se desarrolla un programa de control personalizado que permite la recepción de señales de los sensores, así como el procesamiento de la información y la salida de señales a los actuadores, además, se implementa una interfaz hombre-máquina. (HMI) intuitivo y funcional para facilitar la supervisión y control por parte del operador, realizando pruebas para verificar el funcionamiento en condiciones nominales y eventos inesperados.

Finalmente, las actividades descritas son evaluadas mediante términos de eficiencia energética y de tiempo. La minimización de riesgos laborales y monitoreo de datos, concluyendo que la automatización de la trituradora representa la mejora en la capacidad de controlar el proceso en tiempo real, siendo un avance significativo en la gestión de materiales en el entorno industrial, al igual, la repotencialización de máquinas antiguas funcionales que tienen aún las empresas dando una característica costo-beneficio importante en la industria.

Palabras clave: Automata programable, Automatización, Eficiencia, Plástico, Interfaz Hombre-Máquina, Modbus, Profinet, Trituración.

Abstract

The presente degree work focuses on the study and development of an automated crushing machine applied in the recycling process with the aim is to upgrade the process by improving its efficiency, safety, and productivity by connecting a standard crushing machine with a state-of-the-art monitoring system.

Firstly, a comprehensive literature review is conducted on industrial automation and control systems used for crushing machinery, analyzing technological advancements and best practices in the industry are analyzed, identifying opportunities for improvement and the most suitable solutions for automated machinery.

Secondly, the design of the solution involves the installation of sensors and actuators on the crushing machine to monitor its status and performance a detailed evaluation of the existing crushing machine is carried out, analyzing its mechanical and electrical components, as well as its current functioning and critical points requiring control and monitoring are identified to improve performance and ensure operational safety.

Thirdly, based on the previous activities, it is proposed to carry out the design of the network topology for Profinet and Modbus, including the selection of an appropriate Programmable Logic Controller (PLC), an electrical energy analyzer and sensors for temperature control. of the motor and position of the motor shaft.

Fourth, the PLC is configured and developing a personalized control program that allows the reception of signals from the sensors, the processing of the information and the output of signals to the actuators, in addition, a man-machine interface (HMI) is implemented intuitive and functional to facilitate supervision and control by the operator, proceeding with some tests to verify its correct operation in nominal conditions, unexpected events.

Finally, the described activities are evaluated through the analysis of the results in terms of energy and time efficiency, as well as minimization of occupational risks and real-time data monitoring, concluding that the automation of the crusher represents the improvement in the efficiency of the grinding process and the ability to control it in real time, a significant advance in materials management in the industrial environment.

Keywords: Automation, Efficiency, Human Machine Interface, Modbus, Plastic, Profinet, Programmable automaton, Shredding.

1. Introducción

En la industria moderna, la automatización de procesos se ha convertido en un elemento clave para mejorar la eficiencia, seguridad y productividad de trabajo, teniendo como columna de comunicación las redes industriales, estos sistemas de comunicación, permiten la integración de distintos dispositivos en las etapas de automatización, obteniendo un control preciso de los parámetros, supervisión en tiempo real, lo que brinda operaciones eficientes y rentables, de este modo, la integración de una máquina en una red industrial se presenta como un desafío y una oportunidad.

Este trabajo dará enfoque al primer proceso dentro de la industria del reciclaje de plástico: la trituración, esta operación es ampliamente utilizada en diversos sectores industriales para distintos tipos de reciclaje, como el papel, vidrio y otros.

Las máquinas para este proceso llamadas trituradoras de plástico o moliendas son responsables de reducir materiales a tamaños manejables y facilitar su posterior procesamiento, por ello su rendimiento y eficiencia tienen un impacto directo en el desarrollo del proceso.

Por lo tanto, se lleva a cabo mediante un enfoque multidisciplinario, donde se implementa conocimientos de ingeniería eléctrica, electrónica y de software. Es por ello que el presente trabajo de titulación se logró incorporar y realizar la conexión entre equipos en la máquina trituradora, permitiendo la supervisión y visualización en tiempo real los parámetros de la máquina, el control remoto de la máquina, una mejora en el rendimiento y la detección temprana de posibles fallas o problemas. Los cuales a través del sistema de un monitoreo capaz realizar la transmisión de datos entre los equipos en una misma red industrial a través los protocolos Profinet y Modbus.

2. Problema

2.1. Antecedentes

En las últimas décadas, la industria del reciclaje ha tenido impulso positivo debido a la conciencia ambiental y la escasez de recursos naturales que existe, en este caso Ecuador utilizada como vía para ahorrar recursos y disminuir los impactos ambientales (Bermeo, Rea, López, y Pico, 2018), esta industria los plásticos son considerados como los recursos con mayor incidencia en el planeta, por ello se desarrolla tratamientos y procesos que permitan reutilizarlos y prolongar su vida útil.

Entre las alternativas se tiene el reciclaje mecánico, que mediante procesos minimizan

el plástico a partículas de tamaño mínimo dependiendo de la aplicación, la fase inicial de este tratamiento es la trituración, antiguamente era realizada en moliendas, hasta que en 1927 se da los indicios de las primeras máquinas trituradoras (Rodríguez y Córdova, 2022), permitiendo que el proceso sea realizado con menor esfuerzo y la producción de trabajo aumente, teniendo en cuenta los beneficios que esta innovación trajo, dentro de la industria se vio la necesidad de máquinas con mayores prestaciones y beneficios que permitan cambios en los procesos productivos (Hidalgo Sánchez, 2020).

Actualmente, se busca la actualización de maquinaria en las empresas, tanto por la competitividad en el actual mercado, como los costos de producción cambiantes, las industrias tienen dos opciones reemplazar la maquinaria antigua por una de alta tecnología, o automatizar y modernizar los equipos antiguos.

Teniendo en cuenta que el país aún se encuentra en una etapa de desarrollo de maquinaria competitiva y que la importación implica un costo alto, algunas empresas optan por invertir en la repotencialización y automatización de maquinaria para optimizar su funcionamiento y mejorar su producción (Jácome y Villacís, 2014).

2.2. Descripción del problema

En la actualidad, dentro de la industria de reciclaje de plástico para los procesos de trituración, existe una cantidad media de máquinas antiguas que son funcionales y que operan de forma manual dentro de las empresas, como el encendido y apagado de las máquinas a través de periféricos de entradas como pulsantes, desprovisto de alertas en caso de situaciones de riegos, y sin control del proceso y monitoreo de parámetros para una mejora posterior, en todos los casos esta manipulación es realizada por un operario, el mismo que debería realizar revisiones continuas y según su evaluación seguir con el proceso de trituración de plástico, la necesidad de actualización requieren el cambio de éstas o integración al proceso.

El proceso al estar sujeto al factor humano implica retrasos en la producción, además de fatiga y riesgos en la salud al personal. Por otro lado, las máquinas trituradoras manuales no disponen de un control para su arranque, no se cuenta con la verificación de parámetros como: consumo energético, velocidad del motor, horas de funcionamiento para el mantenimiento de la máquina, detección de problemas o fallos en el sistema, es decir sin un control automático.

2.3. Importancia y alcances

En Ecuador, reciclar es una importante tarea que varias empresas han puesto en práctica por el manejo ético y responsable de sus procesos, teniendo como estimado 42,000 toneladas de residuos al año, por esta razón la finalidad de este proyecto es renovar e integrar una máquina trituradora industrial para la mejora de una de las fases dentro del proceso del reciclaje: la trituración.

Para este proyecto, el proceso de mejora consiste en implementar nuevos equipos de automatización industrial que sean compatibles entre diferentes modelos y cuenten con adaptación para protocolos de comunicación, tomando en consideración los dispositivos de uso común que se encuentran en la industria, sistemas de monitoreo y control disponibles en el mercado.

En cuanto a la comunicación de los distintos dispositivos, se plantea integrar mediante redes industriales, permitiendo a los usuarios monitorear y controlar el funcionamiento de la máquina de manera remota, evitando que el proceso dependa únicamente del factor humano para la mejora en tiempos-calidad del proceso.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

La implementación se realizará en el cantón Cuenca, provincia del Azuay.

2.4.2. Temporal

El proyecto se llevará a cabo en un total de 400 horas que corresponde a las horas de Titulación 1 y Titulación 2.

2.4.3. Sectorial o institucional

El proyecto se realiza en la empresa PROELECTRONIC.

Figura 1

Ubicación de la empresa PROELECTRONIC



Nota: Ubicación de la empresa donde se realizó el proyecto (*Ubicación en Google Maps, 2023*)

2.5. Problema general

- ¿Se podrá automatizar e integrar una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial?

2.6. Problemas específicos

- ¿Se podrá identificar los parámetros que intervienen en el proceso para el monitoreo de una máquina trituradora de plástico?
- ¿Se podrá diseñar el sistema automatizado entre un autómata programable y los dispositivos que conforman la máquina trituradora de plástico mediante distintos protocolos de red para el control del proceso?
- ¿Es posible integrar en una máquina trituradora de plástico un sistema para el monitoreo remoto de su proceso?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Automatizar e integrar una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar los parámetros que intervienen en el proceso para el monitoreo de una máquina trituradora de plástico.
- Diseñar el sistema automatizado entre un autómata programable y los dispositivos que conforman la máquina trituradora de plástico mediante distintos protocolos de red para el control del proceso.
- Integrar en una máquina trituradora un sistema para el monitoreo remoto de su proceso.

4. Marco Teórico

Este tema busca introducir a la sustentación teórica utilizada para la automatización e integración a una máquina trituradora de plásticos en una red industrial.

4.1. Industria del reciclaje

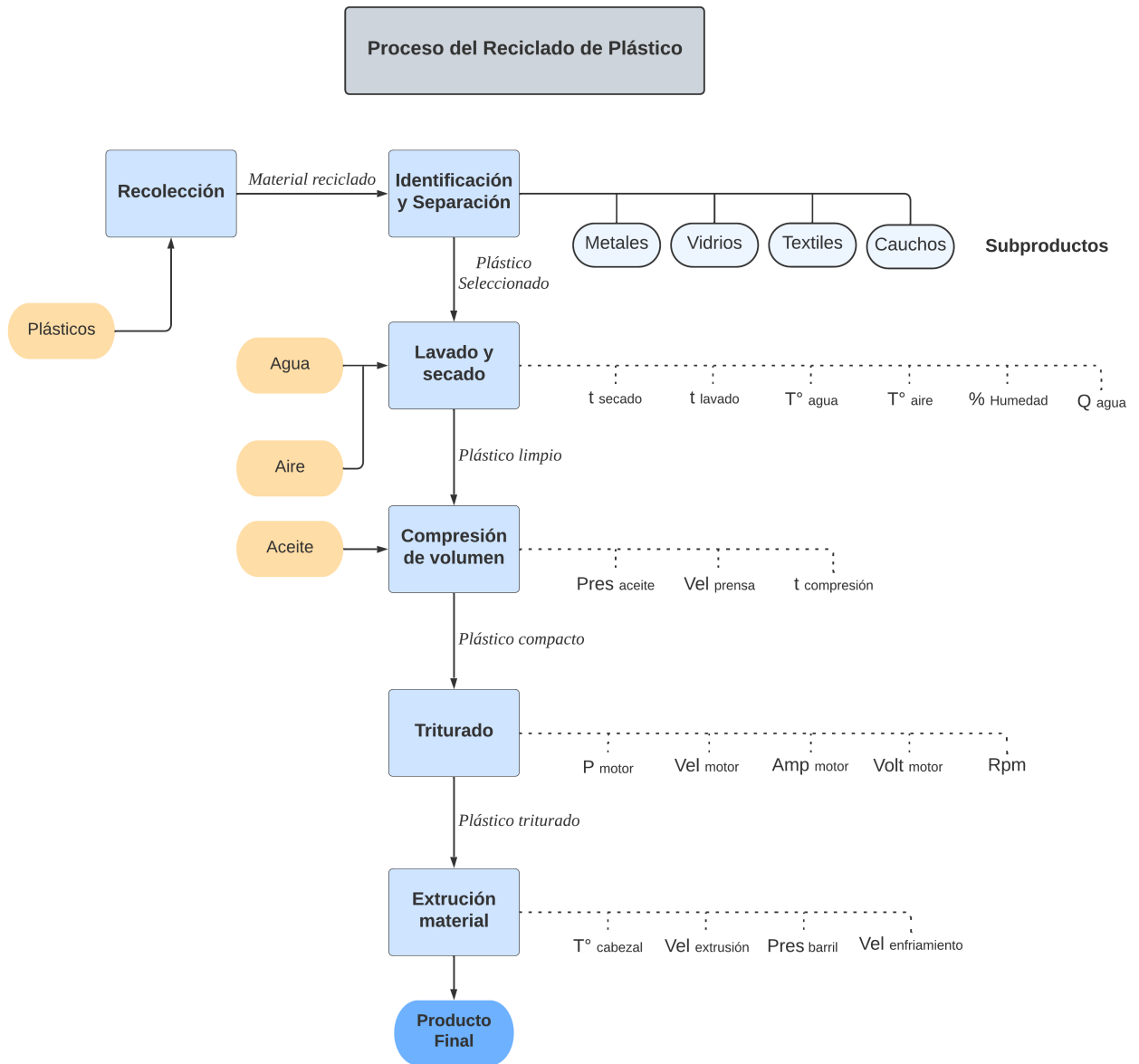
En Ecuador empresas que se encargan del proceso de reciclaje cuentan con distintos tipos de reciclaje como el reciclaje químico, mecánico, enfocando el tema en el reciclaje mecánico, el cual sigue pasos genéricos que van a variar dependiendo del país y las leyes que apliquen, por lo que se ha simplificado en siete fases genéricas descritas en Bolaños (2019).

- **Recolección:** en esta fase se recolectan todo tipo de plásticos que posteriormente son ubicados en una zona de almacenamiento.
- **Identificación y separación:** se identifican los distintos tipos de plásticos, se seleccionan y separan para la producción, con esto se busca una homogeneización posterior.
- **Lavado:** para el lavado del plástico se usa agua caliente que es necesario para minimizar la contaminación
- **Secado:** el plástico se seca con el uso de grandes secadores de aire caliente.
- **Compresión de volumen:** se aplica presión al plástico, ya que optimiza la eficiencia de la operación, ahorra costos, mejora la calidad del material reciclado y prolonga la vida útil del equipo utilizado en el proceso.
- **Fragmentación:** se tritura o fragmentar los objetos de plástico en trozos más pequeños, como gránulos, escamas o virutas, dependiendo del tipo de plástico y de las necesidades del proceso de reciclaje posterior, esta fragmentación se puede llevar a cabo mediante diferentes métodos, como trituración mecánica, molienda, corte, entre otros.
- **Extrusión:** en esta fase se selecciona el producto final para su extrusión.

En el diagrama de la figura 2 se ejemplifica el proceso de reciclaje y las variables a controlar, el rango de valores de las variables varían dependiendo de los recursos y posibilidades de la industria, depende del lugar, tamaño y tipo de maquinaria, tipo de plástico a procesar, modo de operación.

Figura 2

Esquema genérico del proceso de reciclaje de plásticos



Nota: Diagrama del flujo del proceso de reciclaje de plástico con las diferentes variables a medir en cada proceso.

4.1.1. Fase de fragmentación: triturado

En la etapa de fragmentación se tiene el proceso de triturado, que tiene como objetivo reducir el tamaño de los envases de plástico para un manejo sencillo en términos de envío y almacenamiento, este proceso se lleva a cabo en las máquinas trituradoras (Caviedes Aguirre, 2020).

Se encuentran diversos tipos de plásticos que establecen los límites de los parámetros en el procedimiento, y se enumeran varias variedades como PVC (Policloruro de Vinilo), HDPE (Polietileno de alta densidad), PP (Polipropileno), PET o PETE (Tereftalato de polietileno) y PS (Poliestireno). Las variables principales que afectan el resultado y la eficacia del proceso son:

Las principales variables que influyen en el resultado y eficiencia del proceso son:

1. Tipo de plástico: cada tipo de plástico tiene diferentes propiedades físicas y químicas, lo que afecta su resistencia, elasticidad y comportamiento durante el proceso de trituración.

2. Tamaño y forma de las partículas de entrada: la forma y tamaño inicial de los plásticos a triturar pueden variar, lo que afecta cómo se rompen y procesan.

3. Tamaño del material de salida deseado: el tamaño final deseado de las partículas trituradas influye en el diseño de las cuchillas y la configuración del equipo.

4. Velocidad del rotor o cuchillas: la velocidad de rotación del rotor o las cuchillas en la máquina trituradora afecta la tasa de reducción de tamaño y el rendimiento.

5. Diseño de las cuchillas: la forma, el ángulo y la distribución de las cuchillas influyen en cómo se lleva a cabo el proceso de corte y trituración.

6. Sistema de alimentación: la forma en que se alimenta el plástico en la máquina, ya sea manual o automática, puede afectar la eficiencia y uniformidad del proceso.

7. Humedad del material: la humedad presente en el plástico puede afectar su resistencia y facilitar o dificultar el proceso de trituración.

8. Temperatura del proceso: algunos plásticos pueden ablandarse o endurecerse a diferentes temperaturas, lo que afecta su comportamiento durante la trituración.

9. Potencia del motor: la potencia del motor influye en la capacidad de la máquina para procesar grandes volúmenes de plástico y su capacidad para triturar materiales más duros.

10. Sistema de separación y clasificación: después de la trituración, se pueden requerir sistemas adicionales para separar y clasificar las partículas de plástico triturado según su tamaño y tipo.

Todas estas variables deben ser consideradas y ajustadas adecuadamente durante el diseño y operación de una máquina trituradora de plástico para obtener resultados óptimos y eficientes.

Reciclaje de PET

El PET es utilizado en áreas de envasado de bebidas y textiles, siendo de los tipos de plásticos más abundantes a nivel mundial por sus características mecánicas (tabla 1), tienden a ser resistente al desgaste.

Tabla 1

Propiedades del material PET

Propiedades a 25°	Dato	Unidades
Peso Específico	1.39	g/cm ³
Densidad	1350	kg/m ³
Módulo de elasticidad	37000	Kg/cm ²
Resistencia a la tracción	900	Kg/cm ²
Resistencia a la flexión	1450	kg/cm ²
Dureza	87	Shore D

Nota: La tabla muestra las características del material que debe ser considerado para la elección de la maquinaria

Para lograr su reciclaje existen métodos como el reciclaje mecánico y el reciclaje químico. En el caso del reciclaje mecánico se realiza el proceso de trituración para convertir en pequeñas partes manteniendo su composición y estructura.

4.2. Maquinaria de trituración

Las trituradoras son utilizadas en la ruptura de productos duros, de gran tamaño, mediante compresión o impacto, disminuyendo el esfuerzo humano que requiere la tarea, la elección de estas máquinas van a depender de la necesidad de industria, y se cuenta con diferentes tipos como: (Mendoza y Yuen, 2019).

- Trituradora giratoria: la reducción de tamaño se realiza, principalmente, por el esfuerzo de compresión que se ejerce entre un anillo cónico, fijo, y una pieza también cónica, que oscila al interior del anillo, obrando tal como una mano de mortero.
- Trituradora de Martillo: cuando el rotor está en marcha, los martillos, por acción de la fuerza centrípeta, se proyectan hacia adelante, en sentido radial. En la cámara de trituración superior el material se somete al esfuerzo combinado de percusión e impacto por parte de los martillos.
- Trituradora de cuchillas: la máquina, provista de cuchillas, realiza el trabajo de forma rápida, sin ruido, y con escaso consumo energético. Por lo general son más utilizadas en la trituración de plástico, existen máquinas que han sido fabricadas para el reciclado de plásticos especiales e incluyen funciones extras.

4.2.1. Trituradora de cuchillas

Estas máquinas trituradoras son fáciles de operar dependiendo del modelo, una de las más genéricas es la representada en la figura 3, tienen cuchillas con diferentes modelos que están sujeta por un eje central donde se acopla el motor. Dentro de la máquina existen elementos principales que conforman la trituradora tales como:

- Cámara de trituración
- Marco o estructura de soporte.
- Caja de componentes electrónicos.
- Embudo de carga.
- Conexión para el motor.
- Motor de reducción de velocidad.

Figura 3

Máquina trituradora de plástico genérica a automatizar



Nota : Máquina trituradora de plástico con sus respectivos elementos como el motor reductor, tolva y cámara de trituración (OpenAI, 2021).

4.3. Automatización industrial

La automatización abarca más que sistemas de control, considera equipos industriales que incluyen sensores y transmisores de campo, sistemas de comando y control, sistemas de adquisición de datos y comunicación, así como aplicaciones en tiempo real para monitorear y controlar operaciones en procesos industriales

El uso de sistemas o componentes electromecánicos y computarizados para controlar máquinas y/o procesos de producción en lugar de la posición del operador da lugar a sistemas automáticos de dirección en los procesos tecnológicos que aseguran su optimización sin la intervención directa del hombre y adquiere el aspecto ciclo automático que puede reestructurarse con rapidez y eficiencia (Córdoba Nieto, 2006).

4.3.1. Estructura de procesos automatizados

Esta integración gráfica de dispositivos y computadores que se incorporan al proceso en todos los niveles de producción, para optimizar la calidad, la producción, automatizar operaciones y administrar la eficiencia en las diferentes áreas de producción de la empresa,

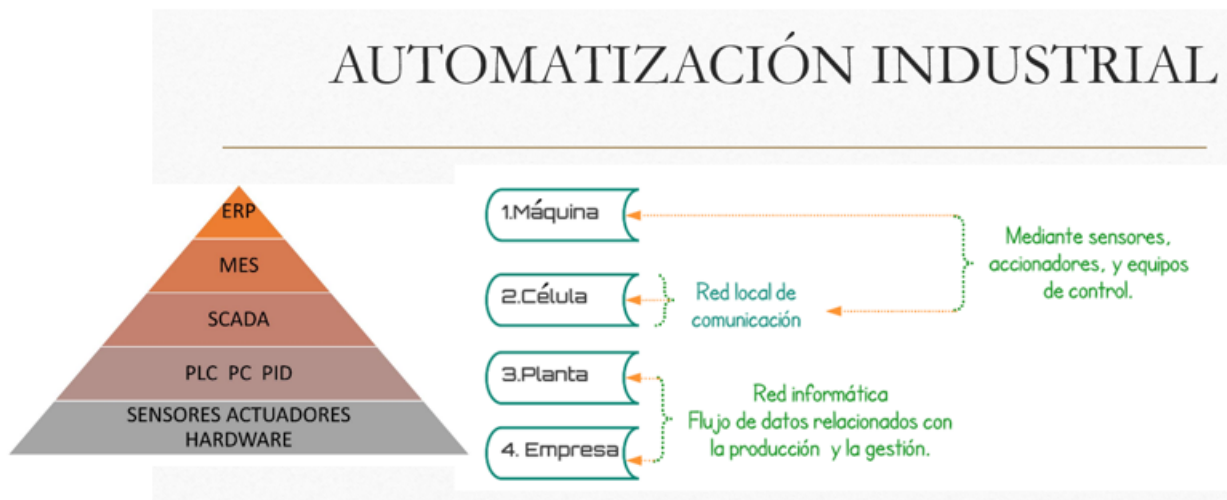
permite que las empresas generen con mayor eficiencia su trabajo.

En la automatización se describe los procesos mediante un sistema informático Computer Integrated Manufacturing o Manufactura Integrada por Computadora (CIM), esta es una pirámide donde se organiza y conecta todos los equipos de una empresa para automatizar operaciones, optimizar la producción y administrar procesos de manera eficiente, esta consiste en varias capas de red que están interconectadas por puertos de comunicación (Festo, 2021).

En los niveles de la pirámide CIM se realizan tareas específicas que involucra el procesamiento de diferente información, a partir del tipo de aplicación se determina la jerarquía a la que pertenece. La relación entre los distintos niveles se logra mediante la integración de redes industriales, logrando en la industria la competencia mediante la mejora continua e implementación de tecnología que se van actualizando Higuera (2007). En la figura 4 se organiza la distribución de la automatización según (Sanchis, Romero, y Ariño, 2010).

Figura 4

Esquema de los niveles de automatización en la industria



Nota : Esquema de los niveles de automatización, del cuál este proyecto se centrará en el área 1 y 2 de la pirámide integrando una máquina a la red local de comunicación.

Según Romero Ardila y Anzola Lozano (2012) las principales ventajas de la automatización son:

- Incrementar la flexibilidad y mejorando la calidad.

- Mejorar la productividad en las empresas.
- Reducción de costes de producción
- Reducir el tiempo en las operaciones.
- Incrementar la confiabilidad del sistema y mejorar las condiciones del personal de trabajo.

4.3.2. Guía de procesos de producción

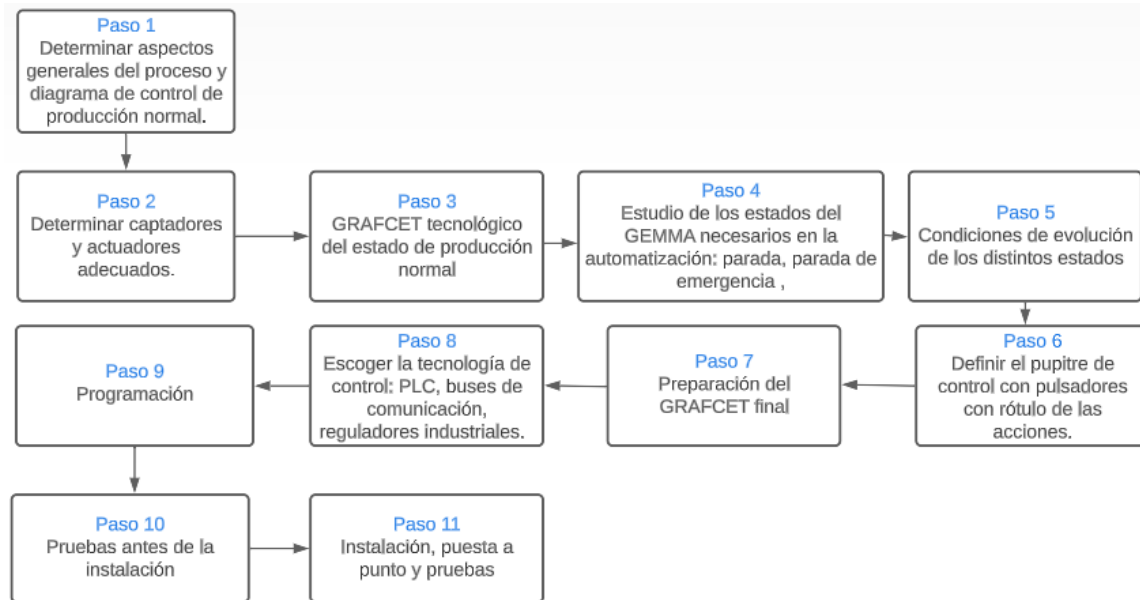
Para integrar la automatización, ya sea una máquina o un proceso industrial, se deben tomar precauciones en todas las condiciones posibles, tales como control manual, control semiautomático, caso de emergencia, parada de emergencia y parada durante la operación.

La Guía de Estudio de los Modos de Marcha y Paro (GEMMA) se basa en el trabajo realizado por la Agencia Nacional Francesa para el Desarrollo de Aplicaciones Industriales, esta pretende que se incluya los modos de marcha y paro del control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado y el funcionamiento deteriorado ante situaciones de emergencia para prevenir posibles daños humanos o del producto (Nodal, 2018).

Según Montenegro Palles (2015) los pasos para aplicar la Guía GEMMA se muestra en la figura 5:

Figura 5

Esquema de pasos basados en la Guía GEMMA para la automatización.

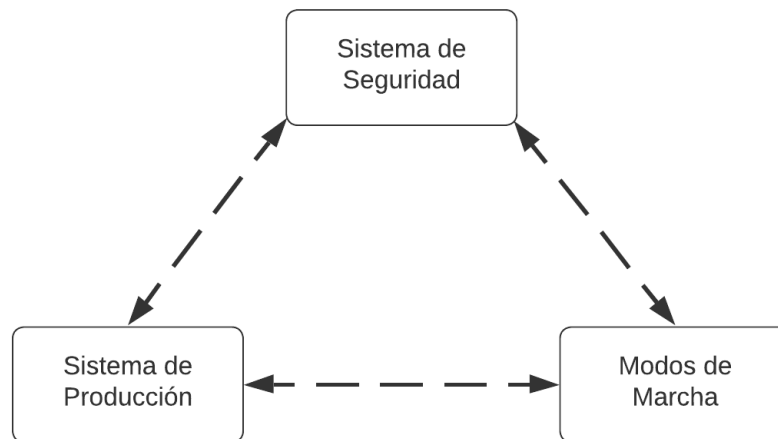


Nota : Pasos a seguir de la Guía GEMMA (Montenegro Palles, 2015).

La guía GEMMA indica que la automatización debe realizarse desde un enfoque estructurado para que exista una mejor eficiencia en cada proceso, el sistema estructurado según Asensio y Arbós (2005) consta de 3 módulos, el sistema de seguridad, el sistema de producción y los modos de marcha, la cual se representa en la figura 6.

Figura 6

Esquema de los módulos de la guía GEMMA



Nota:

Esquema de los módulos de la guía GEMMA genéricos donde el sistema de seguridad se involucra en los dos sistemas de producción y marcha según (Asensio y Arbós, 2005).

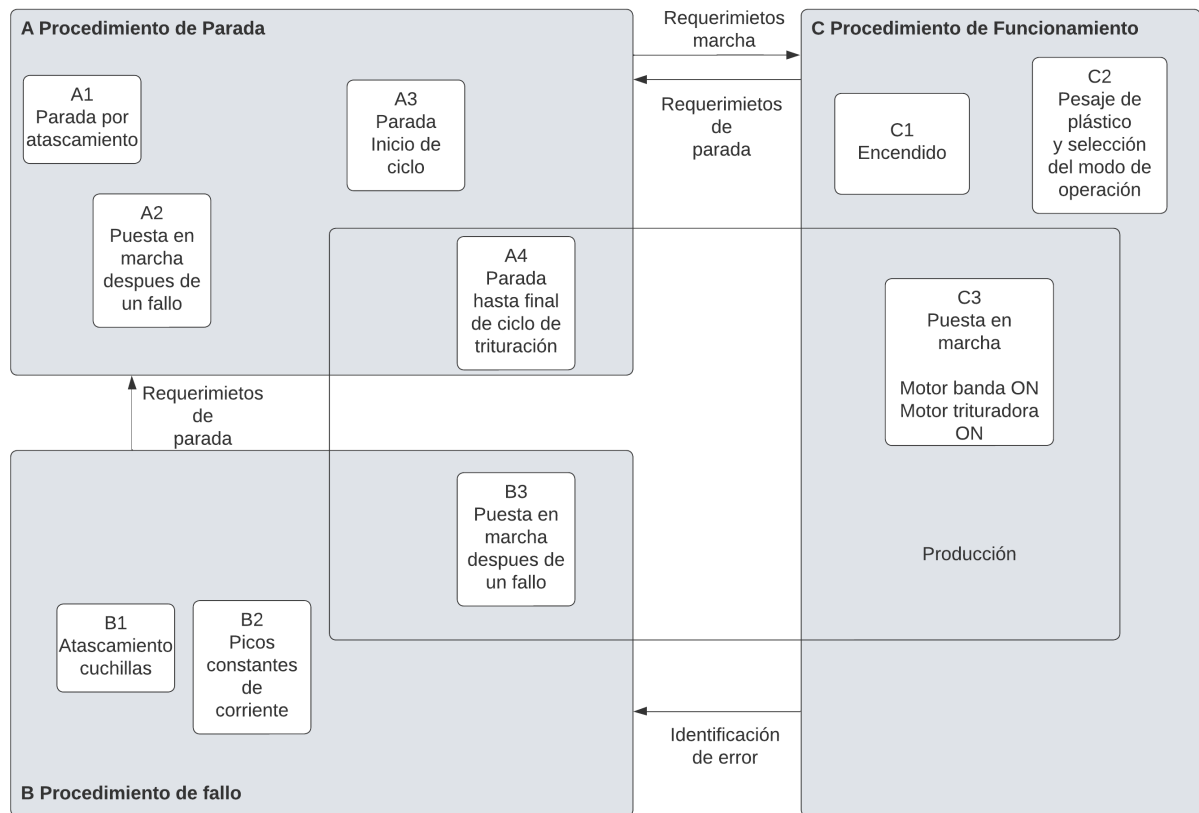
Representación convencional guía GEMMA

El diagrama de representación de la guía GEMMA explica los estados o modos, con el objetivo de demostrar la capacidad para ser aplicada en diversas situaciones y resolver diferentes problemas. Según Asensio y Arbós (2005) los estados se agrupan en tres categorías principales y como se observa en la figura 7:

- A: procedimientos de parada.
- F: procedimientos de funcionamiento.
- D: procedimientos de fallo.

Figura 7

Representación de la guía GEMMA



Nota:

Esquema de la Representación de la guía GEMMA con sus respectivos estados.

4.4. Periféricos en la automatización

Para lograr estos procesos de automatización son necesarios dispositivos diseñados propiamente para la aplicación industrial, cumpliendo con la normativa dentro de la industria.

Las normas listadas a continuación certifican a que los dispositivos funcionen en ambientes industriales:

- Norma IEC 61131-3: esta norma establece un estándar para la programación de PLC y

define los cinco lenguajes de programación que se utilizan comúnmente en la industria (diagrama ladder, diagrama de bloques de funciones, listado de instrucciones, texto estructurado y gráfico de función secuencial) (International Electrotechnical Commission, 2013).

- Norma IEC 61508: esta norma trata la seguridad funcional de los sistemas electrónicos, incluyendo los PLC. Proporciona directrices para evaluar y mejorar la seguridad de estos sistemas en aplicaciones donde puede haber riesgos significativos (International Electrotechnical Commission, 2010).
- Norma IEC 61800-5-1: esta norma se enfoca en los accionamientos eléctricos y los sistemas de control asociados (International Electrotechnical Commission, 2007).
- Norma UL 508: es una norma de seguridad utilizada principalmente en América del Norte. Establece los requisitos para la construcción e instalación segura de equipos eléctricos, incluyendo los PLC (Underwriters Laboratories, 1999).
- Norma ANSI/ISA-95: esta norma se centra en la interfaz entre los sistemas de control y los sistemas de gestión empresarial. Es relevante para el uso de PLC en entornos de fabricación y procesos industriales donde la integración con sistemas de nivel superior es crucial (American National Standards Institute (ANSI) and International Society of Automation (ISA), 2010).
- Normas ISO 9000: estas normas son aplicables a la gestión de calidad de las empresas y pueden incluir requisitos relacionados con el uso adecuado de controladores en los procesos de producción (International Organization for Standardization, 2015).

4.4.1. PLC marca Siemens s7-1200

El PLC es un dispositivo electrónico para el control automático en una secuencia lógica, principalmente para máquinas industriales, basado en tecnología digital con un microprocesador y una computadora.

Los PLCs son comandados por diferentes instrucciones en lenguaje no informático ingresado por el usuario para el control en tiempo real. Este equipo permite un sistema flexible y rentable que puede ser utilizado con sistemas de control, lo cuales pueden variar ampliamente en la aplicación y complejidad para comandar distintos dispositivos siempre y cuando se conecten entre sí, ya sea por entradas-salidas analógicas o redes industriales.

Puertos de enlace de comunicación

Para la conexión entre dispositivos entre sí es importante relacionar los protocolos de comunicación y puertos que son utilizados para la comunicación por medio de la interfaz PN/IE, los controladores lógicos programables permiten utilizar números de puertos, teniendo en el caso del PLC S7-1200 sus puertos y protocolos de capa de transporte se especifica en la tabla 2 (Siemens, 2020).

Tabla 2

Puertos y protocolos de la capa de transporte del PLC S7-1200

Puerto	Protocolo	Sentido	Aplicación
123	UDPT	Salida	NTP
80	TCP	Entrada	HTTP
502	TCP	Entrada/Salida	Modbus
34964	UDP	Entrada/Salida	Profinet Context Manager

Nota: La tabla presenta los puertos que deben activarse según la aplicación a realizar, Por ejemplo la activación del puerto 502 para la comunicación con el Sentron PAC 3200 (Siemens, 2020).

Lenguaje de programación Ladder

Los lenguajes de programación de los PLCs se maneja mediante símbolos, caracteres y reglas de uso que fueron diseñados para poder realizar la comunicación, usuario - máquina, mediante un protocolo general. Sin embargo, el lenguaje de programación ladder está basado en los esquemas de control eléctricos con relés.

Este lenguaje cuenta con diferentes características según Florez y Puentes (2012) como se mencionan a continuación:

- Las instrucciones se colocan del lado izquierdo como contacto dependiendo de su función, estos pueden ser abiertos o cerrados.
- Las salidas siempre se colocan del lado derecho como bobina.
- Es posible ejecutar múltiples instrucciones o salidas simultáneamente.
- El procesador del PLC interpreta los datos en orden secuencial, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha

Por su parte, este lenguaje según Florez y Puentes (2012) también tiene ciertos aspectos que se deben considerar como los listados a continuación:

- Adecuado para controlar problemas, solo se utilizan variables discretas (booleanas) que va a ser el principal problema de control.
- Complicaciones en el momento de manipular variables analógicas y expresar las operaciones aritméticas en la programación, teniendo bloques de configuración para cada operación.
- Soporte limitado para las matrices y bucles, resultando a menudo en la duplicación de código.

Bloque de Datos (DB) : un bloque de Datos (DB) es responsable de conservar información que puede ser accedida para lectura o escritura en distintas secciones del programa mediante bloques u operaciones específicos. Estos bloques son empleados en el programa para almacenar datos en la unidad central de procesamiento (CPU). Su capacidad de almacenamiento puede abarcar hasta 8 KBytes (equivalente a 8192 Bytes) (Siemens, 2002).

Resolución de señales para los convertidores analógico-digital(CAD)

La resolución de un módulo analógico hace referencia a la precisión con la que una señal puede ser muestreada o cuantificada, para el PLC la precisión es con la que puede medir y procesar señales analógicas, además de depender del transductor que se utilice y su cableado externo.

El PLC tiene un convertidor CAD de 16 bits, este CAD hace referencia a la cantidad de valores discretos que puede tener una señal digitalizada, significa que puede dividir la escala completa de la señal analógica en 16 niveles discretos, es decir, 65 536 niveles. Cuanto mayor sea el número de bits de resolución, mayor será la precisión con la que se puede medir y representar la señal analógica.

4.4.2. Motor trifásico

Los motores trifásicos son un tipo de motor eléctrico que funciona con un sistema trifásico de corriente alterna (CA), son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales y comerciales debido a su eficiencia, capacidad de manejar cargas pesadas y facilidad de control.

- Mayor eficiencia: debido a su diseño y principio de funcionamiento, los motores trifásicos son más eficientes que los motores monofásicos y requieren menos energía para operar.

- Arranque suave: pueden lograr un arranque suave y controlado, lo que evita golpes de corriente y daños en el motor y el equipo conectado.
- Potencia constante: los motores trifásicos entregan una potencia constante y uniforme, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren una carga estable y continua.

Un ejemplo puede ser el motor trifásico asíncrono, estos motores son ampliamente utilizados en una amplia gama de aplicaciones, como bombas, ventiladores, compresores, transportadores, máquinas, herramientas y muchas otras aplicaciones industriales y comerciales.

Funcionamiento de un motor trifásico

La mayoría de las redes eléctricas industriales suministran energía trifásica, lo que hace que los motores trifásicos asíncronos sean una opción práctica y eficiente para una variedad de aplicaciones en el mundo industrial, es por esto que se tiene el motor asíncrono

Y la velocidad de un motor asíncrono depende del diseño del motor y de la frecuencia de la fuente de alimentación, generalmente, estos motores tienen velocidades nominales estandarizadas, como 1800 RPM (revoluciones por minuto) o 3600 RPM, en sistemas de 60 Hz, y 1500 RPM o 3000 RPM en sistemas de 50 Hz.

Para controlar un motor asíncrono trifásico, existen varias técnicas y dispositivos que permiten variar la velocidad y la dirección de rotación, así como brindar protección y control en diferentes situaciones. Algunas de las formas más comunes de controlar un motor asíncrono trifásico son las siguientes:

- **Arranque directo:** es la forma más simple de controlar un motor asíncrono. Se conecta el motor directamente a la red eléctrica trifásica, y cuando se activa el interruptor, el motor arranca a su velocidad nominal. Esta técnica se utiliza en aplicaciones donde no es necesario un arranque suave y el motor no está sometido a grandes cargas inerciales.
- **Arranque estrella-delta:** esta técnica se utiliza para reducir la corriente de arranque y el impacto en el sistema eléctrico al encender motores de alta potencia. El motor se conecta inicialmente en configuración estrella, que reduce la corriente de arranque, y luego se cambia a la configuración delta para el funcionamiento normal a velocidad nominal.

- **Arranque suave(soft-start):** esta técnica permite un arranque gradual del motor, evitando picos de corriente durante el encendido. Se utilizan dispositivos electrónicos, como arrancadores suaves o variadores de frecuencia, para controlar gradualmente la velocidad del motor hasta alcanzar su valor nominal.
- **Variadores de frecuencia (inversores de frecuencia):** estos dispositivos permiten controlar la velocidad del motor ajustando la frecuencia de la corriente suministrada al motor. Al cambiar la frecuencia, se modifica la velocidad del campo magnético giratorio del estator, lo que resulta en un cambio de velocidad en el motor. Los variadores de frecuencia también pueden proporcionar protección contra sobrecarga, cortocircuitos y otras condiciones anormales.
- **Control vectorial:** esta técnica avanzada de control permite un control más preciso del motor asíncrono al ajustar tanto la frecuencia como el voltaje suministrado al motor. Esto permite un control preciso del par motor y la velocidad, incluso en condiciones de carga variable.

Para esta aplicación se habla del motor trifásico jaula de ardilla asíncrono de Siemens, el cual se ha obtenido para realizar las pruebas de comunicación.

Parámetros para dimensionamiento del motor

Para dimensionar y calcular la potencia que debe tener el motor se debe considerar los siguientes parámetros.

- Espesor del material(s): depende del proceso de compresión del volumen en el proceso del reciclaje.
- Fuerza de corte(F_c): es la fuerza aplicada en las cuchillas.
- Ángulo de cuchilla(φ): ángulo de la cuchilla, la cual varía según el proceso y material.
- Radio eje (r): el radio del eje donde estará la cuchilla,
- Resistencia a la cizalladura(τ): es el esfuerzo al cizallamiento, esta propiedad mecánica varía según el material.
- Número de cuchillas(n): equivale al número de cuchillas utilizadas.
- $Torque_c =$ es el torque necesario en las cuchillas para la trituration

- Velocidad angular (ω): es la tasa de cambio de este ángulo con respecto al tiempo

Ecuaciones

Para el cálculo de la fuerza hay que considerar cuantas cuchillas se utilizarán, ya que la fuerza aplicada se multiplica según el número de cuchillas. Según Budynas (2008) la ecuación 1 se refiere a la fuerza en una sola cuchilla.

$$F_{c_{unico}} = \frac{s^2}{2 \tan(\varphi)} \cdot \tau \quad (1)$$

La ecuación 2 hace referencia a la fuerza aplicada en las cuchillas.

$$F_c = F_{c_{unico}} \cdot n \quad (2)$$

En la fórmula 3 hace referencia al torque de corte necesario para el triturado.

$$T_c = F_c \cdot r \quad (3)$$

En la ecuación 6 se puede calcular la potencia nominal del motor.

$$P = \frac{T_c}{W} \quad (4)$$

Sin embargo, esta potencia no cuenta con factor de seguridad general FS=1,15, por ello es necesario multiplicar por la potencia como se muestra en la ecuación 5

$$P = P \cdot 1,15 \quad (5)$$

4.4.3. Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un equipo electrónico de potencia, que permite controlar un motor de inducción con señal trifásica de frecuencia programable, permitiendo cambiar parámetros necesarios dentro de la función del motor. Además, existen variadores que incorporan funciones de comunicación, teniendo la posibilidad de actuar desde un autómatas por medio del puerto de comunicaciones (Sanchis y cols., 2010).

Para la elección de estos equipos es necesario tener las siguientes consideraciones:

- Variables eléctricas a las que el equipo estará expuesto, comprendiendo tanto la tensión como la frecuencia.

- Las condiciones ambientales en las que el equipo operará también resultan cruciales, incluyendo la altitud, humedad y temperatura, además de las condiciones específicas de ventilación.
- Corriente, par y potencia máxima correspondiente al motor.
- El tipo de carga, ya sea un par constante o variable.
- El rango de velocidad y el método de control a emplear (por ejemplo, protocolo de comunicación PLC necesario o señal 4-20 mA).

Variador Sinamics G120

Estos variadores de baja tensión, como se muestra en la figura 8 permiten conectar distintos tipos de motores. La configuración para estos variadores de frecuencia existen 3 distintas maneras de programar los parámetros como es desde:

- Panel de operador básico (Basic Operator Panel(BOP): permite dar señales de arranque u otra acción necesaria para la aplicación.
- Software STARTER: este software es propio de Siemens, es una herramienta de puesta en marcha y permite la configuración de parámetros mediante un PC.
- Portal de automatización totalmente integrada (TIA Portal): este es un software de programación de PLC y HMI de la marca Siemens que integra una gran cantidad de componentes de las máquinas para el control de un sistema industrial, y sirve para la automatización de fábricas e incluso, para proyectos de domótica

Figura 8

Variador de frecuencia de Siemens sinamics G120



Nota: Variador de frecuencia modular de la marca Siemens modelo Sinamics G120 con opción de control unit CU240E-2 PN (Siemens, 2022).

Clases de aplicación para los variadores

Existe gran variedad de aplicaciones al momento de integrar un variador de frecuencia en el cualquier proceso, el cual según Siemens (2022) nos presenta dos aplicaciones para el proceso de producción.

- Standard Drive Control(SDC): este tipo de aplicación se usa en procesos que involucren bombas, trituradoras, molinos, cintas transportadoras, etc. Este tipo de control se usa cuando los motores tiene una potencia inferior a los 45 Kw, cuando se tenga para cargas constantes.
- Dynamic Drive Control(DDC): en este tipo de control se utiliza en aplicaciones que implique el control de bombas, hornos rotativos, centrifugadoras, etc. Puede controlar motores asíncronos y síncronos a partir de una potencia mayor a 11 Kw.

Tipo de regulación

El control por U/f también conocido como control de voltaje/frecuencia (V/f) según Siemens (2022) es un método para regular la velocidad y las características son las siguientes:

- El convertidor ajusta la tensión de salida basándose en la característica U/f.

- La frecuencia de salida necesaria se determina principalmente a partir de la velocidad deseada y el número de pares de polos del motor.
- La compensación de deslizamiento corrige la frecuencia de salida en función de la carga, lo que mejora la precisión de la velocidad.
- Al no requerir un regulador PI, se evita la posibilidad de inestabilidad en la regulación de velocidad.
- En aplicaciones que exigen una alta precisión de velocidad, es posible optar por la regulación con elevación de tensión según la carga (regulación corriente-flujo, FCC).

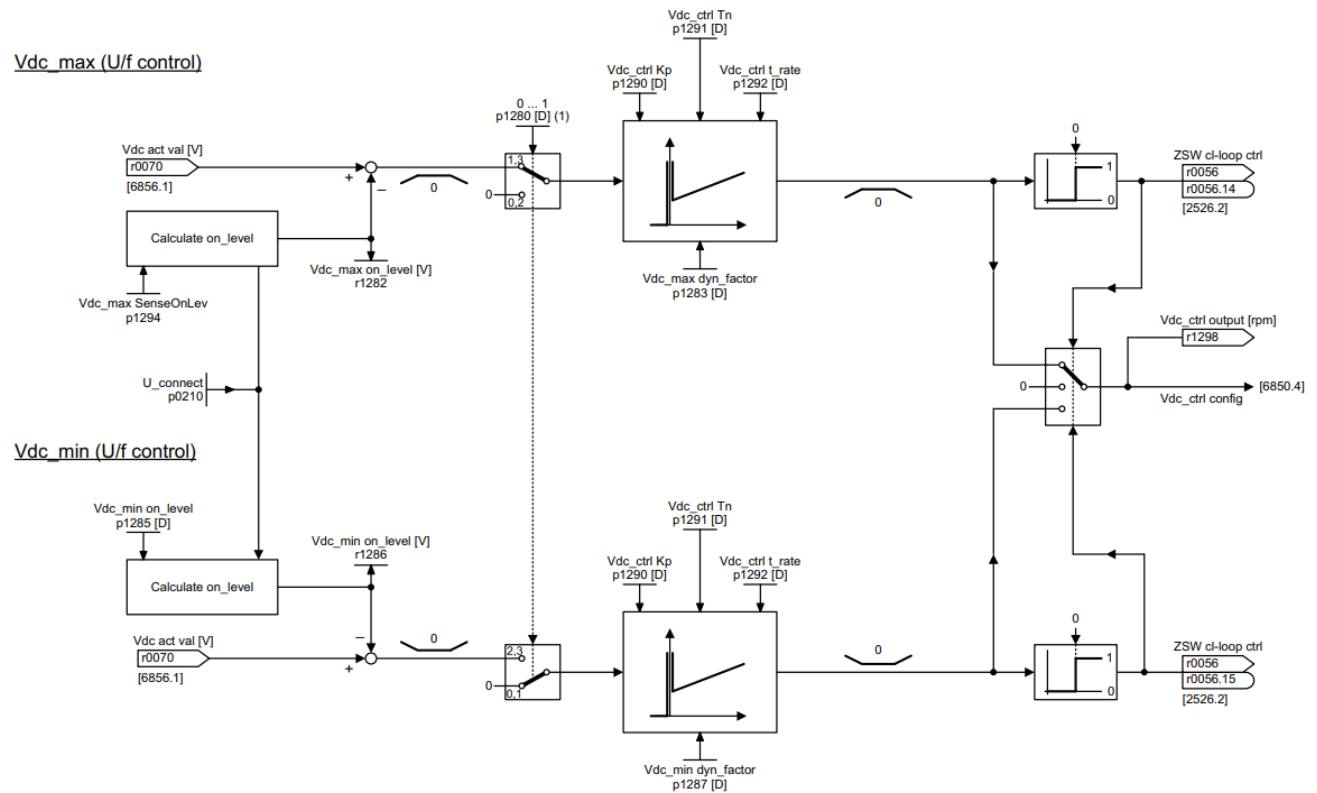
El convertidor tiene varias características de U/f los cuales son:

- Lineal
- Regulación corriente-flujo (FCC)
- Parabólica
- Programable
- Consigna independiente de tensión

Para realizar el control U/f con característica lineal se basa en la arquitectura presentada en la figura 9 la cual indica la lógica de parámetros que ingresan en el motor.

Figura 9

Parámetros de control U/f con característica lineal

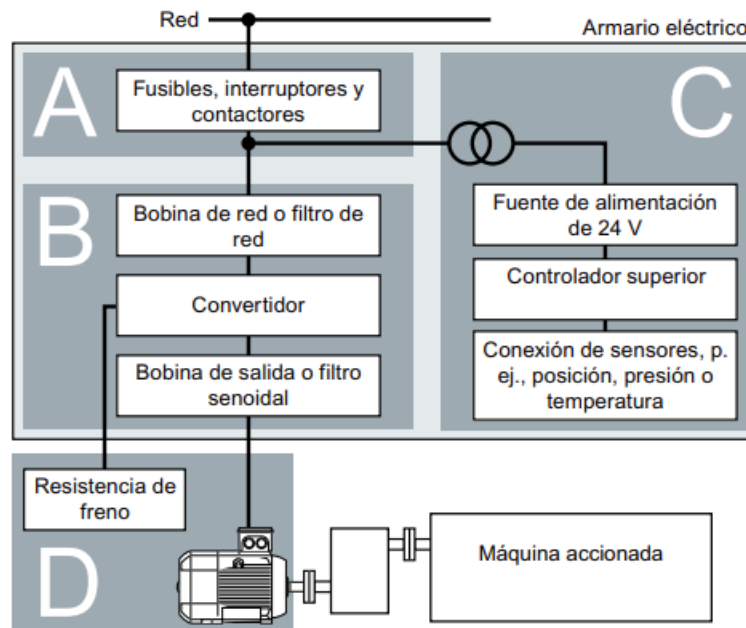


Nota: Se indica los parámetros para realizar la configuración del control U/f en el variador siemens (Siemens, 2022).

Considerando la aplicación del variador, la distribución de los equipos debe ser similar a la representación de la figura 10.

Figura 10

Distribución eléctrica con aplicación del variador siemens G120



Nota: Disposición de los equipos en un solo armario eléctrico aplicando el variador G120 (Siemens, 2022).

4.4.4. Dispositivos de entrada

En automatización, los dispositivos de entrada son aquellos que permiten al sistema recibir información o datos del entorno para luego procesarlos y tomar decisiones en función de esta información. Estos dispositivos son fundamentales para que un sistema automatizado pueda interactuar y responder a los cambios en su entorno. Algunos de los dispositivos de entrada más comunes en automatización son:

- **Sensores:** los sensores son dispositivos que detectan y convierten diferentes magnitudes físicas o estados en señales eléctricas o electrónicas.

Existe una gran variedad de sensores, entre ellos:

- Sensores de proximidad (inductivos, capacitivos, ultrasónicos, etc.): detectan la presencia o ausencia de objetos cercanos al sensor.

- Sensores de temperatura: miden la temperatura del entorno o de un objeto específico.
 - Sensores de nivel: indican el nivel de llenado de un tanque o contenedor. Sensores de luz (fotodetectores): Detectan cambios en la intensidad de la luz.
 - Interruptores y pulsadores: son dispositivos que permiten activar o desactivar una función o proceso mediante la manipulación manual del operador. Pueden ser interruptores de palanca, pulsadores, botones o conmutadores.
- **Teclados y pantallas táctiles:** estos dispositivos permiten a los operadores interactuar con sistemas de control mediante la introducción de datos o la visualización de información en pantalla.

Estos dispositivos son necesarios, porque proporcionan la información necesaria para que los sistemas automatizados tomen decisiones y realicen tareas específicas de manera eficiente y precisa. Cada uno de estos dispositivos cumple una función específica y, en conjunto, permiten la interacción entre humanos y máquinas, la automatización de procesos e integración sistemas complejos.

4.4.5. Sistemas de monitoreo

Para los sistemas de monitoreo mencionados en la pirámide CIM las cuales se encuentran en, son herramientas fundamentales para supervisar y controlar procesos, máquinas y sistemas automatizados de manera eficiente y segura. Estos sistemas permiten obtener información en tiempo real sobre el rendimiento, el estado y las condiciones de los elementos automatizados, lo que facilita la toma de decisiones y la optimización de los procesos. Algunas de las tecnologías y enfoques utilizados en los sistemas de monitoreo en la automatización son:

- **Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).**

Los sistemas SCADA son utilizados para monitorear y controlar procesos industriales y sistemas de infraestructura a gran escala. Estos sistemas recopilan datos de sensores y dispositivos en tiempo real y los presentan a través de una interfaz gráfica amigable. Los operadores pueden supervisar y controlar el funcionamiento del sistema, recibir alarmas y tomar decisiones basadas en la información proporcionada por el SCADA.

■ Interfaz Hombre-Máquina(HMI)

Los HMI son utilizados para comunicarse con los PLCs, estos permiten el ingreso de datos para el control y monitoreo de variables, además de informar sobre fallos o alarmas que se producen dentro del proceso.

Funciones del HMI:

- **Control:** ajusta los valores del proceso y los delimita en un rango de operación deseado.
- **Monitoreo:** se visualiza los datos del proceso en tiempo real a través de la pantalla.
- **Alarmas:** son eventos reconocidos en el proceso y genera reportes.
- **Históricos:** almacena archivos o datos del proceso para su posterior revisión.

■ Sentron PAC3200

Este dispositivo es un multímetro que permite visualizar los parámetros de red eléctrica más importantes en la distribución de baja tensión de electricidad, puede medir corrientes y tensiones monofásicas, bifásicas y trifásicas.

Este dispositivo indicado en la figura 11 tiene varias funciones útiles para el monitoreo, el diagnóstico y los servicios técnicos, como la energía activa y reactiva, los contadores de dos tarifas, los contadores de electricidad y un cronómetro de tiempo de actividad para controlar el tiempo de servicio. (Sarmiento Paute, 2020)

Figura 11

Medidor de Energía sentron PAC 3200



Nota: Medidor de energía Siemens Sentron 7KM PAC3200 con interfaz ethernet (Siemens, 2023).

4.5. Redes industriales

El protocolo de redes industriales son sistemas de comunicación creados para conectar y facilitar la comunicación entre diferentes dispositivos y equipos utilizados en entornos industriales, estas redes son fundamentales para el funcionamiento y la automatización de procesos en diversos sectores, como la manufactura, la industria química, el petróleo y gas, la energía, la agricultura y muchos otros.

Las redes industriales cumplen varias funciones:

- **Comunicación de datos:** permite la transferencia de datos entre dispositivos, sensores, actuadores y sistemas de control. Esto posibilita la supervisión y el control de procesos, así como la recopilación de datos para el análisis y la toma de decisiones.
- **Automatización y control:** facilita la automatización de procesos industriales, lo que permite una mayor eficiencia y precisión en la producción. Estas redes permiten que los sistemas de control tomen decisiones en tiempo real basadas en datos en lugar de depender únicamente de la intervención humana.
- **Seguridad y confiabilidad:** las redes industriales están diseñadas para ser robustas y confiables en entornos exigentes y críticos. La seguridad es un aspecto vital, ya que muchas de estas redes manejan información sensible y operan maquinaria y procesos potencialmente peligrosos.
- **Integración de sistemas:** permiten la integración de diversos sistemas, como PLCs (Controladores Lógicos Programables), SCADA (Sistemas de Control y Adquisición de Datos), HMI (Interfaz Hombre-Máquina) y otros dispositivos industriales, para trabajar de manera conjunta y coordinada.
- **Topologías específicas:** existen diferentes tipos de redes industriales, como las redes de área local industriales (LAN industriales), las redes de área extensa industriales (WAN industriales) y las redes inalámbricas industriales. Cada una de estas topologías se adapta a las necesidades y características particulares del entorno industrial.
- **Protocolos industriales:** existen numerosos protocolos de comunicación utilizados en redes industriales, como Interfaz Digital Modular con Bus (Modbus), Process Field Bus o Bus de campo (Profibus), Ethernet/IP, Profinet, Controller Área Network (CAN), entre otros. Cada protocolo está diseñado para fines específicos y se adapta a los requerimientos de las aplicaciones industriales.

Estas herramientas facilitan la eficiencia, la seguridad y la optimización de procesos, y son una parte integral de la Industria 4.0, donde la digitalización y la interconexión de sistemas desempeñan un papel crucial en la mejora de la productividad y la toma de decisiones.

Para las conexiones físicas existen los protocolos industriales que son estandarizadas dentro de un entorno industrial y se realizan mediante interfaces, series normalizadas por la Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos (EIA), los cuales determinan las características del soporte de comunicación, y como debe ser la señal eléctrica.

La corriente en la línea de transmisión (4 – 20 mA) indica el nivel lógico, utilizados generalmente en buses para seguridad intrínseca, por lo que es importante el tipo de cable a utilizar, teniendo en el mercado los siguientes:

- Cable bifilar trenzado con pantalla Cable bifilar no trenzado sin pantalla.
- Cable bifilar trenzado, sin pantalla.
- Cabe coaxial.
- Fibra óptica (transmisión inalámbrica.)

Dentro de los estándares recomendados, los más conocidos son:

- RS-232: utilizado para comunicaciones Full dúplex.
- RS-485: utilizado para comunicaciones Half dúplex.
- Lógica de transistor-transistor (TTL): estándar de transmisión de señales digitales a niveles por medio de la tecnología de semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS).

Para la aplicación necesaria se tiene en cuenta parámetros de: la velocidad de comunicación, transmisión de datos entre dispositivos, latencia y tiempo de respuesta, seguridad y costos, capacidad de carga, distancia de transmisión Belomonte (2020).

4.5.1. Profibus

Según Bowne (2018) existen tres versiones de Profibus, cada una dedicada a un dominio de comunicación:

- Profibus-DP: optimizado para aplicaciones rápidas y de bajo costo, dirigido a sensores/actuadores relacionados con procesadores (PLC) o relacionados con terminales.

- Profibus-PA: está diseñado para el control de procesos y cumple con estándares de seguridad especiales para ambientes peligrosos y explosivos como la industria química (IEC 1 1 15 8-2 intrínsecamente seguro), tiene una velocidad de 31.25 Kbps y se puede usar de forma remota. 1,9 km.
- Profibus-FMS: es una solución para la comunicación entre celdas de proceso o dispositivos de automatización. El desarrollo de Profibus hacia el uso de protocolos TCP/IP para la comunicación del proceso significa que este perfil aún no es adecuado. Proporciona alta velocidad de 9,6 Kbps a 1500 Kbps en una distancia de más de 100 km (Serna y Ortiz, 2011).

4.5.2. Profinet

Este es un estándar de Ethernet industrial, pero tienes capacidades que le permiten ofrecer una comunicación más rápida y flexible (Bowne, 2018). Cada uno de los estándares cuentan con distintas características que se detallan en la tabla 3.

Tabla 3

Características de protocolos Profibus-Profinet

Características	Profibus	Profinet
Organización	Profibus Y Profinet	Internacional
Velocidad de tx de datos	12 Mbit/s	1 Gbit o 100 Mbit/s
Telegrama	244 bytes	1440 bytes (cíclico)
Espacio de direccionamiento	126	Ilimitado
Tecnología	maestro/esclavo	proveedor/consumidor
Wireless	Posible	IEEE 802.11, 15.1
Movimiento	32 ejes	>150 ejes
Máquina a máquina	No	Si
Integración vertical	No	Si
Conectividad	PA+otros	muchos buses

Nota: Se puede visualizar la tabla de las características de los protocolos Profibus y Profinet (Bowne, 2018).

4.5.3. Modbus

El protocolo de solicitud-respuesta de Modbus se implementa mediante relaciones maestro-esclavo. En una relación maestro-esclavo, la comunicación siempre es bidireccional, el dispositivo debe iniciar una solicitud y esperar una respuesta, y el primer dispositivo (el maestro) inicia cada conexión. Por lo general, el maestro es una interfaz hombre-máquina (HMI) o un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), y el esclavo es un sensor, un controlador lógico programable (PLC) o un controlador de automatización programable (PAC). El contenido de estas solicitudes y respuestas, así como la capa de red donde se envía el mensaje, están determinados por diferentes capas del protocolo (NI, 2014).

4.5.4. Topología de red

En las redes industriales, la topología se refiere a la disposición física y lógica de los dispositivos y nodos que forman parte de la red, la elección de la topología adecuada tiene un impacto significativo en la eficiencia, redundancia y facilidad de mantenimiento de la red. Algunas de las topologías más comunes en las redes industriales son las siguientes:

- Topología de Bus: todos los dispositivos se conectan a un solo cable principal, conocido como bus. Cada dispositivo se comunica con el bus para enviar y recibir datos. Aunque es fácil de implementar, la falla de un solo dispositivo o un corte en el cable principal puede afectar toda la red.
- Topología de Anillo: los dispositivos se conectan formando un círculo cerrado. Cada dispositivo recibe los datos y los reenvía al siguiente dispositivo en el anillo hasta que alcanzan su destino. Esta topología tiene una alta redundancia, ya que si un enlace falla, la comunicación puede continuar a través de una ruta alternativa. Sin embargo, la configuración y el mantenimiento de esta topología pueden ser complejos.
- Topología en Estrella: los dispositivos se conectan a un punto central como un switch o un concentrador. Todos los datos pasan por este punto central, que actúa como un punto de control y distribución de la comunicación. Si un dispositivo falla, solo afectará la comunicación con ese dispositivo en particular y no afectará a toda la red.
- Topología de Árbol: combina elementos de las topologías en estrella y bus. Los dispositivos se conectan a través de una estructura jerárquica en forma de árbol, donde un dispositivo central conecta varios dispositivos secundarios y estos a su vez pueden tener

otros dispositivos conectados a ellos. Ofrece una mayor flexibilidad y escalabilidad en comparación con la topología de bus.

- Topología de Malla: cada dispositivo está conectado directamente a todos los demás dispositivos en la red. Esto proporciona la máxima redundancia y fiabilidad, ya que si un enlace o dispositivo falla, aún se puede encontrar una ruta alternativa para la comunicación. Sin embargo, esta topología suele requerir más cables y es más costosa de implementar (Belomonte, 2020).

Cada topología tiene sus ventajas y desventajas, y la elección adecuada dependerá de los requisitos específicos de la red industrial, como la cantidad de dispositivos, la distancia entre ellos, la redundancia necesaria y la tolerancia a fallos requerida. Es común encontrar combinaciones de estas topologías en redes industriales más grandes y complejas para obtener el equilibrio adecuado entre eficiencia y confiabilidad.

5. Marco Metodológico

Como metodología se va a contar con la planificación donde se identificará distintos tipos de máquinas trituradoras, por otra parte, se identificará y describirá las características técnicas de los equipos a utilizar, se realizará la lógica para la programación y a su vez el diseño de distribución física y software para comunicar todos los dispositivos propuestos.

5.1. Planificación

1. Evaluación de máquinas trituradoras

Para el proceso de evaluación de la máquina es realizar los la inspección de 3 distintas máquinas para obtener las características promedio de una máquina trituradora para los parámetros a considerar en la siguiente aplicación.

- Molino de trituración para envases desechables PET (Mayorga Sosa, 2016).

Esta máquina ha sido diseñada para mejorar la calidad de grano, indicando algunos valores de velocidad y cuenta con los parámetros descritos en la Tabla 4.

Esta variación de velocidad, es realizada de forma manual por medio de un variador de velocidad y un potenciómetro.

Tabla 4*Características de un molino de trituración de 2 ejes*

Item	Parámetro
Fuerza de corte	72N
Velocidad de trabajo	1 500 rpm (157,1 rad)
Distancia entre cuchilla- punto central eje	8 cm
Torque necesario	12,96 Nm
Potencia de accionamiento	3,11 HP

Nota: Las características descritas de la máquina indica los parámetros considerados en el diseño

- Máquina Trituradora de plástico de 4 cuchillas (Rodríguez Alvarado y Córdova Cabada, 2022).

Esta máquina busca mejorar el proceso con una capacidad de 4 kg por hora, maximizando el trabajo y reduciendo los parámetros del motor mediante juego de engranajes y con parámetros descritos en la Tabla 5.

Tabla 5*Características de un molino de trituración de 4 cuchillas*

Item	Parámetro
Fuerza de corte	655,5 N
Velocidad de trabajo	46 rpm
Distancia entre el centro de cada cuchilla	5,75 cm
Torque necesario	59,09 Nm
Potencia de accionamiento	1 HP

Nota: Las características descritas de la máquina indica los parámetros considerados en el diseño

- Máquina Trituradora de plástico para botellas plásticas PET reciclables con capacidad

de 5KG/H (Cushicondor Quinga y Monta Guaña, 2021).

Esta máquina cuenta con 6 cuchillas y doble eje, su funcionamiento es mediante cuchillas acopladas a dos ejes hexagonales que están conectados mediante piñones con las siguientes características propuestas en la Tabla 6.

Tabla 6

Máquina trituradora de plástico con capacidad de 5KG/h

Item	Parámetro
Fuerza de corte	1 693,44 N
Velocidad de trabajo	57 rpm
Distancia entre el centro de cada cuchilla	2,17 cm
Torque necesario	101,60 Nm
Potencia de accionamiento	1,8 HP

Nota: Las características descritas de la máquina indica los parámetros considerados en el diseño (Cushicondor Quinga y Monta Guaña, 2021)

Con estos ejemplos de máquinas diseñadas se encuentra los parámetros comunes que son monitoreados para el funcionamiento de la máquina.

En la tabla 7. se indica los parámetros considerados dentro del proceso de trituración.

Tabla 7

Parámetros considerados en el proceso de trituración

Parámetro	Dispositivo
Temperatura	Termocupla
Peso	Celda de Carga
Posición	Sensor Infrarrojo
Secuencias lógicas	Contactores
Vibración	Acelerómetro
Potencia de motor	Variador de Frecuencia
Velocidad de motor	Tacómetro
Voltaje	Sentron Pac3200

Nota: Las características descritas de la máquina indica los parámetros considerados en el diseño

2. Identificación de características técnicas:

Para las de pruebas de comunicaciones se necesitará un motor, se utilizará un motor trifásico con las características eléctricas de uno real, implementando con el variador trifásico, el cual para las pruebas se obtendrá un motor trifásico, jaula de ardilla de la marca siemens modelo 1LA7060-4AB10-Z, en la tabla 8. se va a especificar las características del motor a considerar.

Tabla 8

Características del motor siemens utilizado para pruebas.

Item	General	Eléctrica
1	Material:Aluminio	Tensión Nominal: 230VD /460VY
2	Vibración: Clase A	Frecuencia:60 Hz
3	Dir. de rotación-Bidireccional	Potencia:0.14 kW
4	Peso: 3,50 kg	Velocidad: 1 650 1/min
5		Torque 3 Nm
6		Factor de Potencia: 0,74/56%
		0,68/54,5%
		0,55/50%
7		Corriente 0,73 A

Nota: Las características descritas del motor de siemens modelo 1LA7060-4AB10-Z servirán para la puesta en marcha inicial desde el variador de frecuencia

3. Descripción de los equipos utilizados para las pruebas de comunicación

Para la automatización de la máquina trituradora, se requieren varios dispositivos electrónicos. A continuación, se enumeran los dispositivos utilizados en la automatización de la máquina:

■ PLC S7-1200

El PLC a usar es el PLC Siemens 1200, se lo utiliza para controlar y monitorear el funcionamiento de la máquina trituradora. El PLC ejecutará el programa de control y se encargará de recibir las señales de entrada, procesarlas y enviar señales de salida para controlar la activación de los actuadores (Siemens, 2020)

■ Variador de Frecuencia

De la marca Siemens, variador G120 el cual tiene la disponibilidad de conectar la unidad de control CU240B-2 y CU240E-2, siendo la última utilizada para este proyecto. Para la elección del variador se tuvo en cuenta parámetros descritos en la 9, como:

- **Potencia del motor:** la potencia nominal del variador debe ser igual o mayor que la del motor que controlará.

- **Tensión y frecuencia de la fuente de alimentación:** el variador debe ser compatible con la tensión y frecuencia de la fuente de alimentación, en este caso estará alimentado por una fuente de 220V, a una frecuencia de 60 Hz.
- **Corriente nominal:** el variador debe estar dimensionado para manejar la corriente nominal del motor, es importante asegurarse de que el variador pueda suministrar la corriente requerida por el motor sin sobrecargarse.
- **Frecuencia de salida:** la frecuencia de salida del variador debe ser ajustable y compatible con la velocidad de operación deseada para el motor. Los variadores modernos permiten ajustar la frecuencia de salida en un rango amplio, lo que permite controlar la velocidad del motor.
- **Conectividad y comunicación:** tiene la capacidad de conectividad y comunicación mediante el protocolo Profinet.

Tabla 9

Características del variador G120 de siemens aplicado

Parámetros	Motor	Variador
Potencia	0,14 kW	1.5 kW
Tensión	230 VD	230v a 330v
Frecuencia	60 Hz	47 a 63 Hz
Corriente	0,73 A	4,7 A
Comunicación		Profinet

Nota: Comparación de características descritas del variador G120 CU240E-2 PN con código 6SL3244-0BB12-1FA con el motor indicando que son apropiadas para el control.

■ **HMI seleccionado:**

Este aparato posibilitará la interacción entre el operador y la trituradora, utilizando el Panel HMI Siemens KTP600 Basic PN – 6AV2123-2GB03-0AX0. Con este panel, el operador podrá ajustar los ajustes, supervisar el estado de la máquina y recibir notificaciones en forma de alarmas o mensajes de precaución.

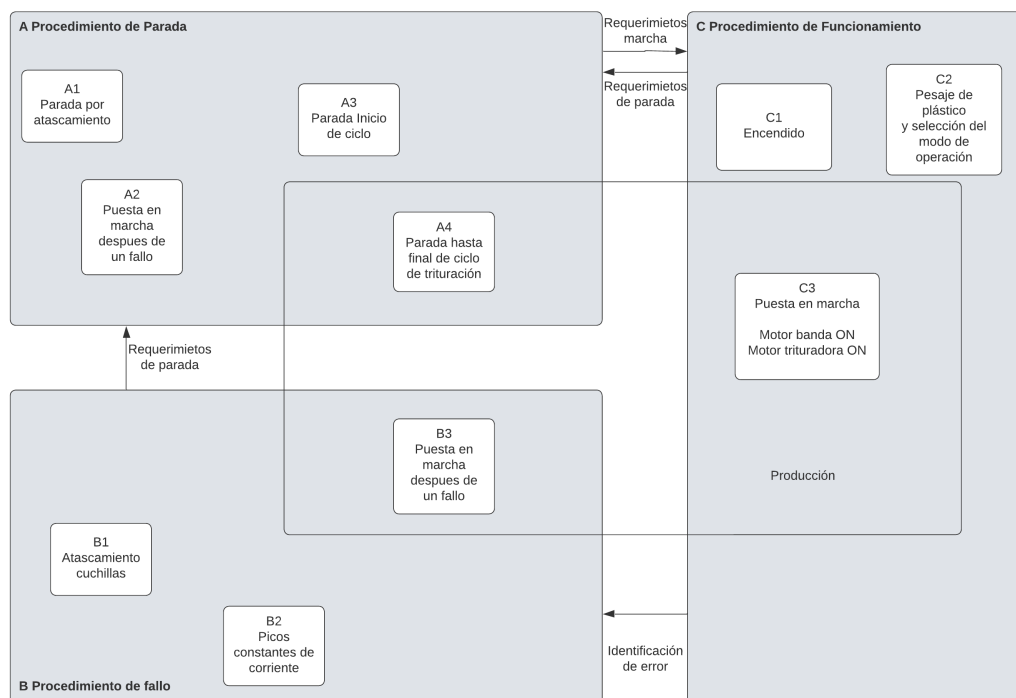
Planificación para tablero de control

Siguiendo las recomendaciones de la guía GEMMA se toma en cuenta las posibles situaciones que puedan ocurrir en el proceso, y de las cuales exista una acción a realizar a través del panel de mando, se muestra en la siguiente imagen todos los diversos estados en los que el proceso de triturado puede encontrarse.

Para la representación de la guía GEMMA que se muestra en la Figura 12 se tomó como referencia la Figura 6 donde se muestra todos los estados del proceso de triturado de plástico y sus modos de operación.

Figura 12

Representación del proceso de automatización mediante la guía GEMMA



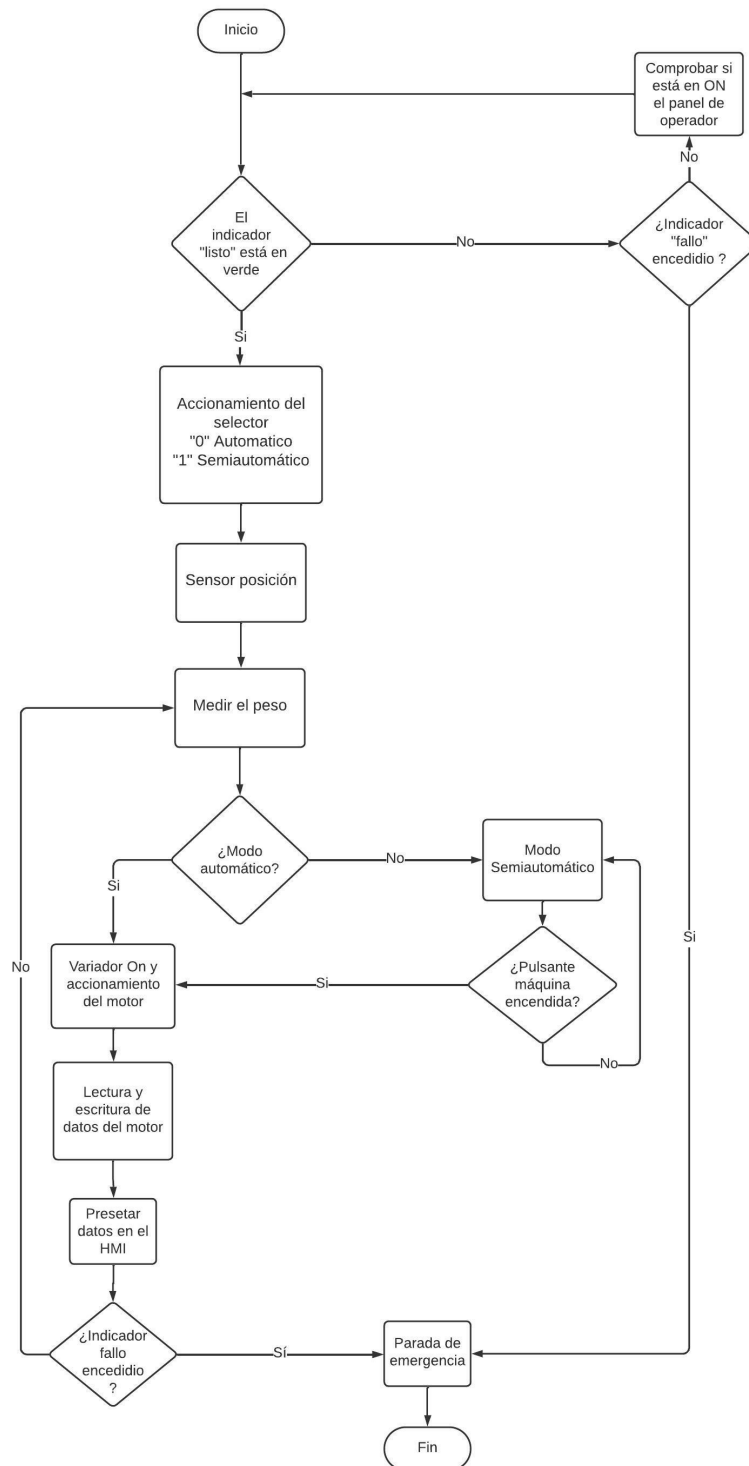
Nota: Representación de la guía GEMMA aplicada al caso de estudio con sus respectivos bloques como: el procedimiento de parada, procedimiento de funcionamiento y procedimiento de fallo.

Lógica de programación

La programación sigue el proceso indicado en la figura 13, este proceso cambiando

Figura 13

Diagrama de secuencia del proceso programado al PLC



Nota: Representación del diagrama de proceso en la programación del controlador.

Riesgos en el sistema

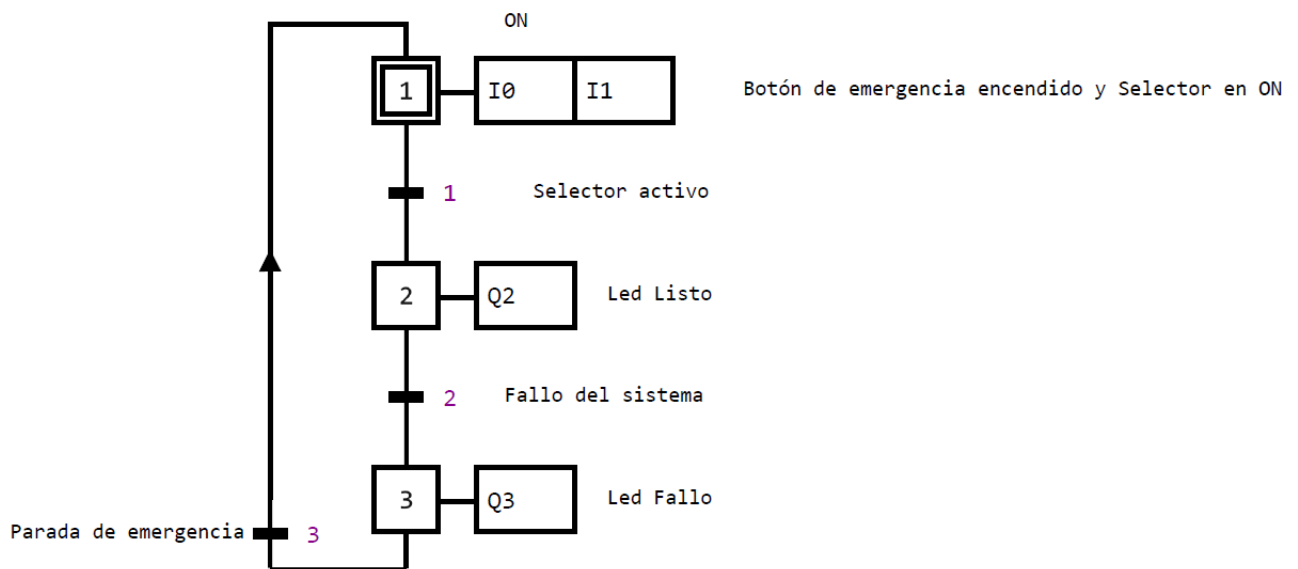
Con base en la figura 12 se puede enfocar ahora en el diseño para el sistema de detección contra posibles de fallos. A su vez se presentan los riesgos que son frecuentes en el proceso de triturado de plástico, los más comunes son:

- Atascamiento de las cuchillas.
- Picos altos de corriente: producidos por un posible fallo del motor que podrá ser detectado por el analizador de red eléctrica.
- Falta de conexión: producido por un fallo en la red de comunicación.

En la figura 14 se representa una propuesta mediante el diagrama GRAFCET del proceso de detección a un fallo en el sistema.

Figura 14

Diagrama GRAFCET para el sistema de seguridad propuesto



Nota: Se presenta el diagrama GRAFCET de seguridad para detectar los fallos de la máquina trituradora.

5.2. Diseño e implementación

Para el diseño e implementación del sistema a automatizar se realizó diagramas para la topología de red a utilizar, se determinó el principio de operación dentro de las configuraciones y conexiones en redes.

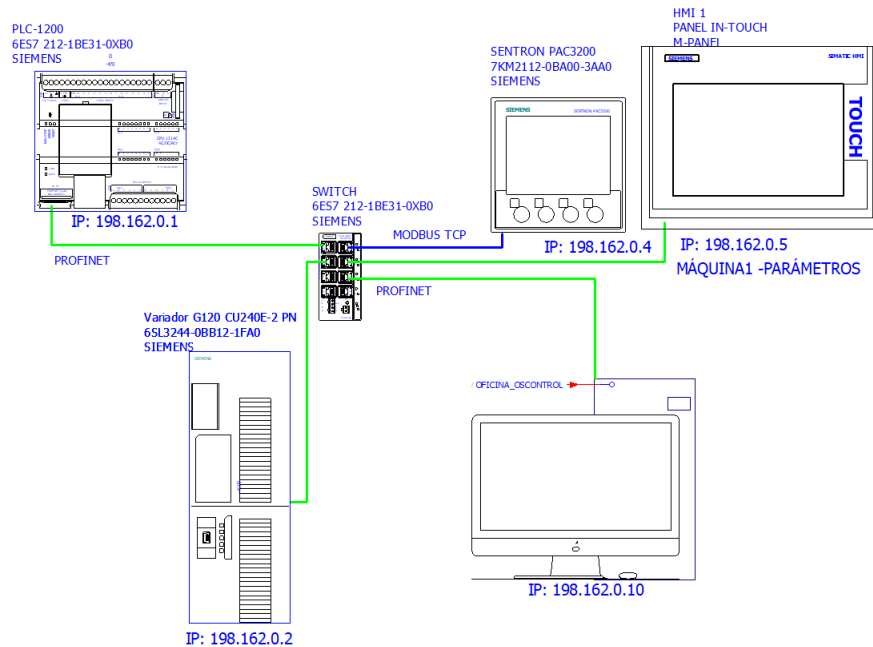
5.2.1. Topología de red

Con la identificación y selección de los equipos se debe realizar las conexiones eléctricas guiadas en el Anexo 2. Las especificaciones requeridas al integrar a la red industrial es que todos los dispositivos de la máquina se encuentren en red y sean controlados por un maestro.

La conexión en red de los equipos mencionados estará en estrella a un SWITCH siemens, la figura 15 representa como estarán dispuestos, las ventajas de este tipo de topología es el funcionamiento independiente con el que cuenta, si un nodo cae o falla el sistema continúa trabajando. Con los equipos descritos, se diseña la conexión en red para la aplicación teniendo la conexión especificada.

Figura 15

Diagrama de topología de red propuesto

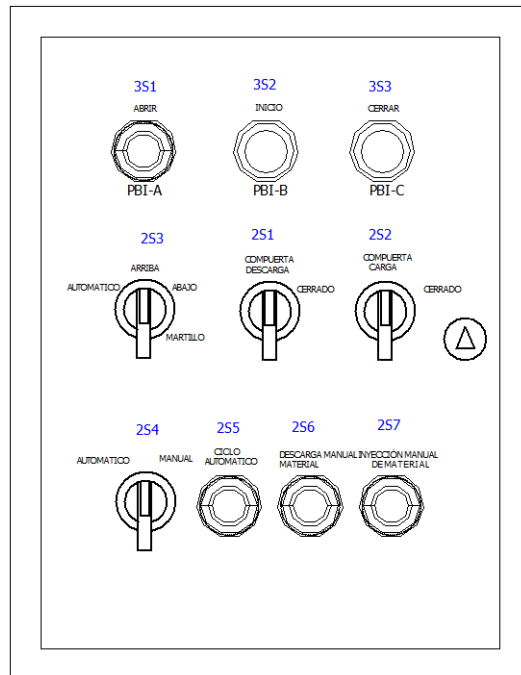


Nota: Diagrama de red correspondiente a los equipos y direcciones IP asignadas.

Por otra parte, el control de la máquina puede ser realizado desde el panel de operador indicado en la figura 16.

Figura 16

Panel de control utilizado para el accionamiento manual de la máquina

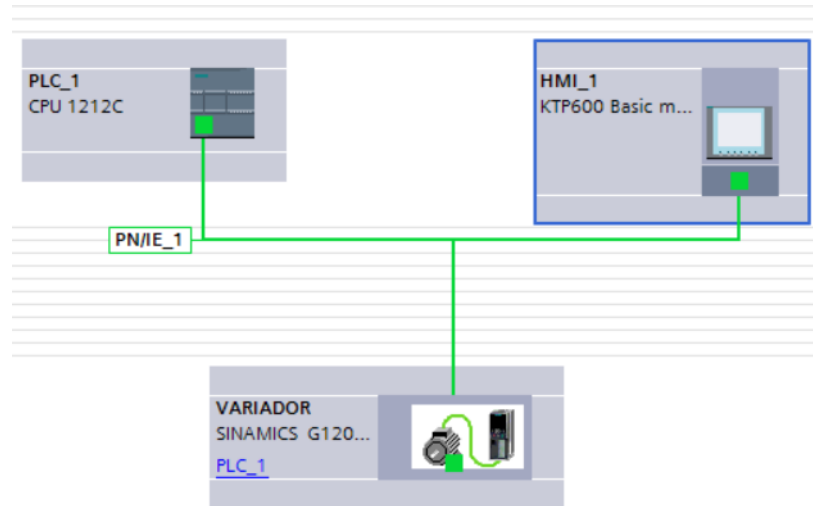


Nota: Representación del tablero de control.

Este tablero de operador tendrá las operaciones semiautomáticas y automáticas para que el operador ponga en marcha la máquina. En la figura 17 se muestra los equipos conectados, esto se refiere a que están conectados en la misma red de comunicación.

Figura 17

Topología de red aplicada en TIA Portal



Nota: Topología de red levantada en el software TIA Portal .

En TIA Portal, se configura la dirección IP y la máscara de red para cada dispositivo en sus propiedades, asegurando así que todos los dispositivos estén conectados en una misma red local.

5.2.2. Dispositivos en red y programación

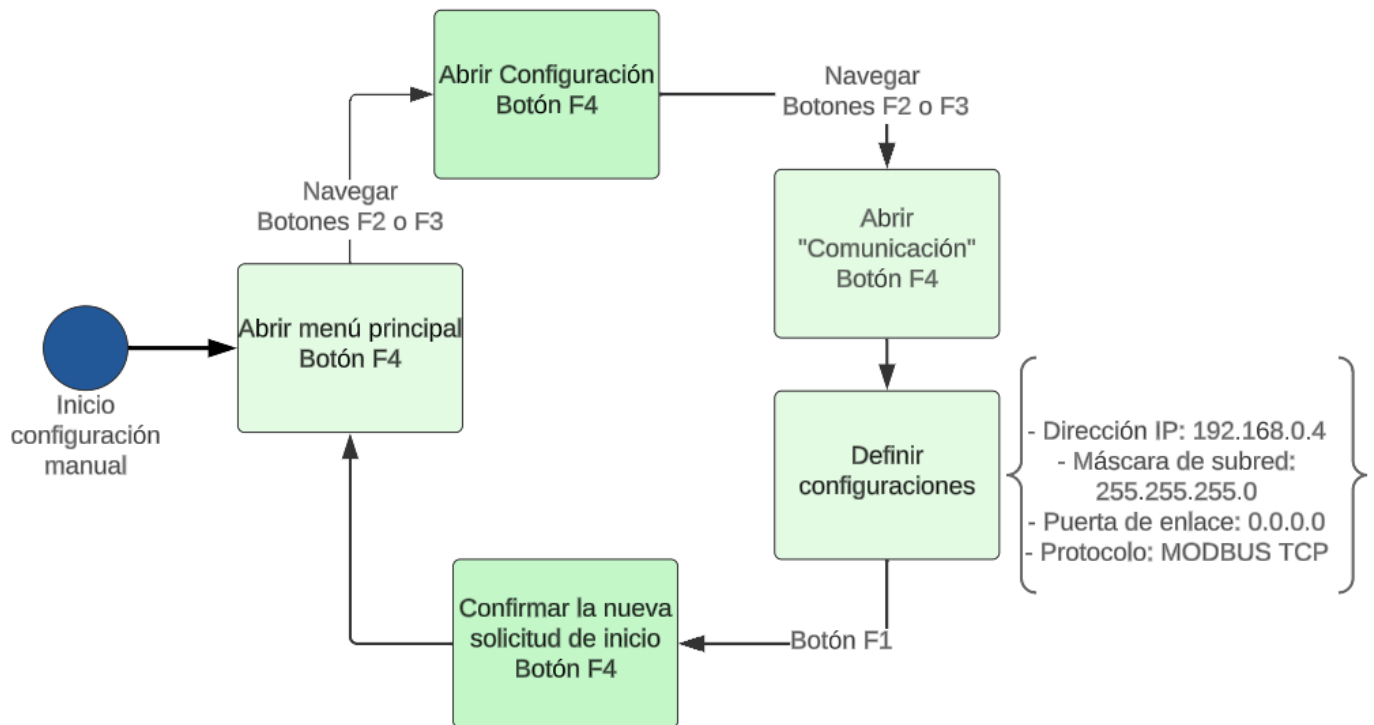
Para la red industrial se realizaron los siguientes cálculos para obtener los parámetros de respuesta de la implementación.

Programación sentron PAC

El dispositivo sentron PAC 3200, tiene soporte Modbus TCP a través de la interfaz Ethernet, en este dispositivo se debe configurar de forma manual, una vez configurado se debe alimentar el dispositivo y seguir las instrucciones indicadas en la figura 18 para la comunicación.

Figura 18

Diagrama de configuración manual del dispositivo sentron PAC3200



Nota: Configuración manual de los parámetros de comunicación para el equipo sentron PAC 3200.

Para llevar a cabo la captura de información proveniente del SENTRON PAC, se emplea la función MB CLIENT dentro del TIA Portal.

La función "MB CLIENT" se utiliza para establecer una comunicación en calidad de cliente Modbus TCP/IP mediante la conexión Profinet al PLC. Esto establece una vinculación entre el cliente y el servidor, permitiendo enviar peticiones de datos, recibir respuestas y gestionar la desconexión del servidor Modbus TCP.

5.2.3. Programación del variador de frecuencia sinamics G120- CU240E-2 PN

La configuración del variador de frecuencia tiene dos fases, la primera debe realizarse en el software STARTER y la segunda en el software TIA Portal debido a que el plc y el variador tienen que tener el mismo telegrama de comunicación.

Configuración en STARTER

El software STARTER se utilizará para realizar la configuración, la puesta en marcha y diagnóstico de los accionamientos del variador.

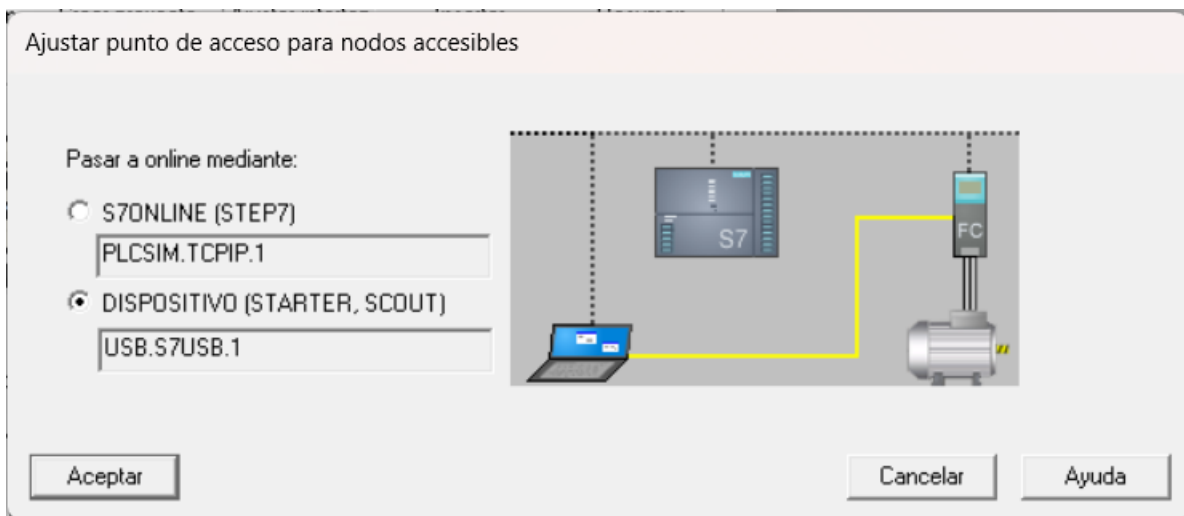
Pasos para la configuración en STARTER:

- **Paso 1:**

Se crea el proyecto y se coloca la interfaz de acceso al variador que será mediante USB como se muestra en la siguiente figura 19:

Figura 19

Configuración de tipo de acceso al variador



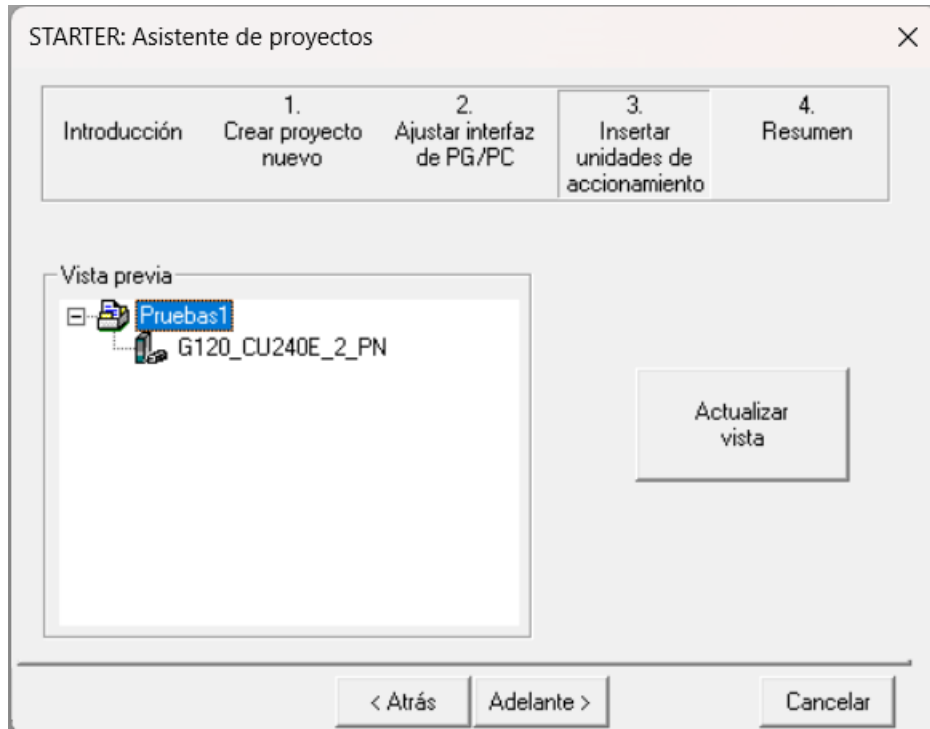
Nota: Configuración para el metodo de punto de acceso al variador.

- **Paso 2:**

Se comprueba si se encuentra en red el equipo como se muestra en la figura 20, el cual verificará si el modelo corresponde con el leído en el programa.

Figura 20

Prueba de conexión con el variador de frecuencia



Nota: Vista previa de conexión al variador siemens.

En la figura 21 se muestra todos los equipos conectados, así como también sus características principales como de la CU PM340 y el motor asíncrono.

Figura 21

Reconocimiento de equipos en línea



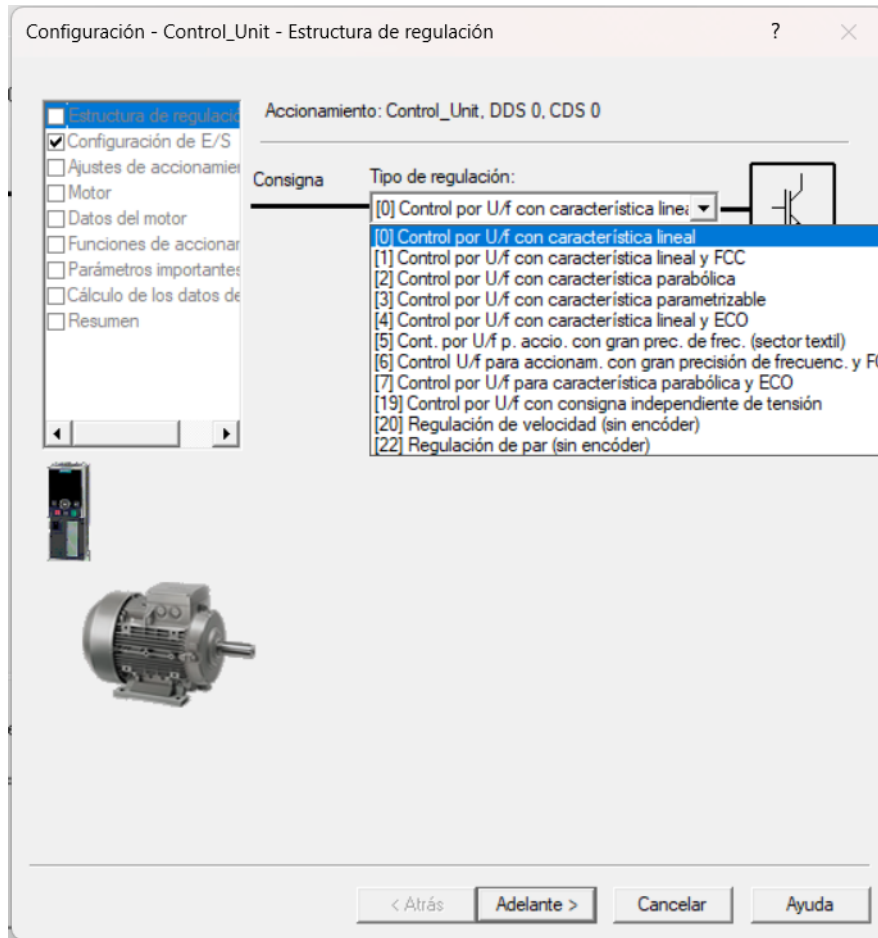
Nota: Vista previa de los equipos en línea y sus datos preestablecidos.

■ **Paso 3:**

El siguiente paso será realizar la configuración del Control Unit como se muestra en la figura 22 en donde se inicia con el tipo de regulación del motor que será mediante el control por U/F con característica lineal, la relación entre el voltaje y la frecuencia aplicados al motor se mantiene lineal. Esto significa que el voltaje proporcionado al motor cambia proporcionalmente a medida que aumenta o disminuye la frecuencia de alimentación del motor para mantener una relación constante.

Figura 22

Consigna del tipo de regulación del motor

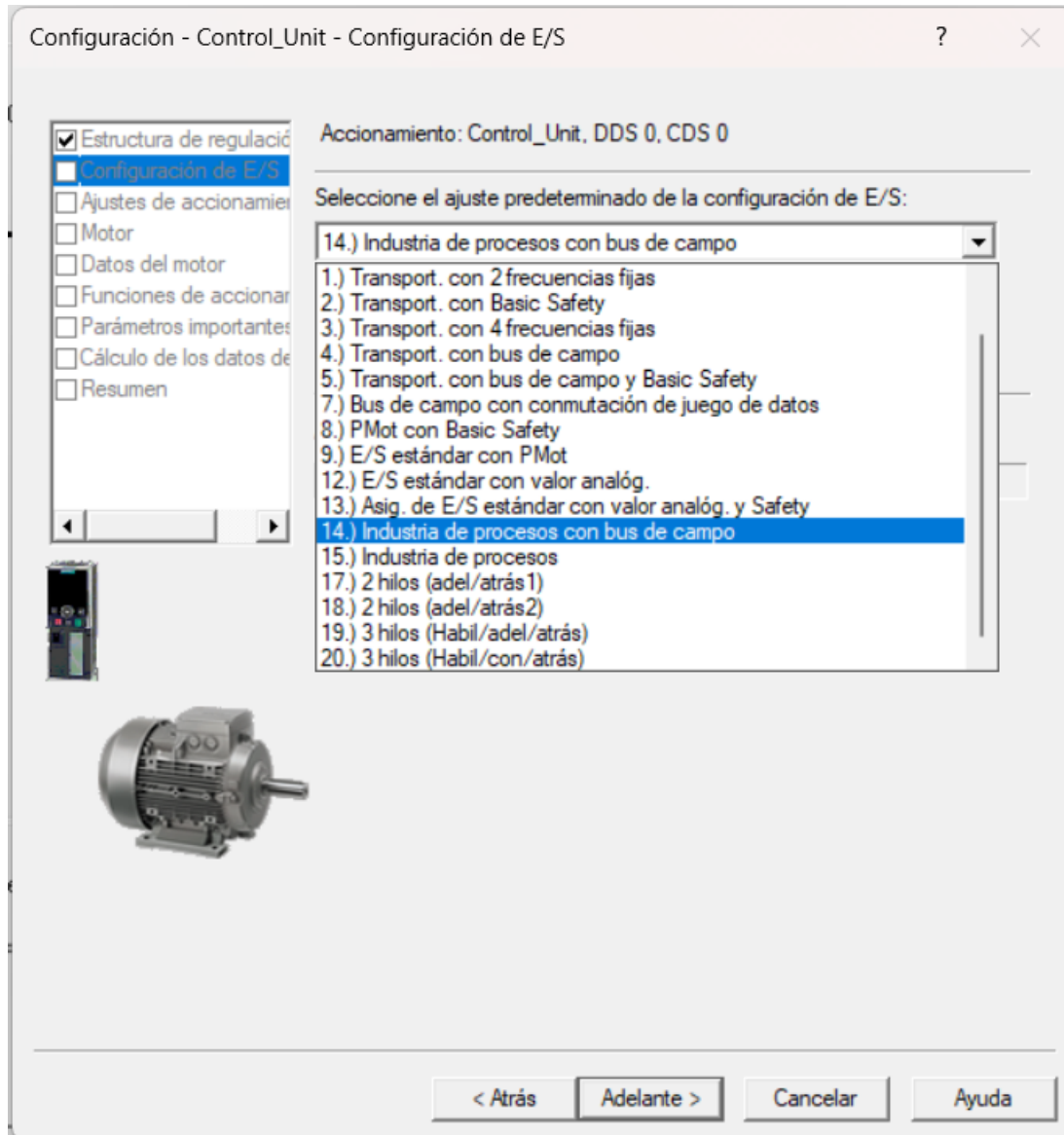


Nota: Configuración para el tipo de regulación del motor.

La siguiente variable será la configuración de E/S(Entradas y Salidas) el cual será mediante bus de campo como se muestra en la figura 23.

Figura 23

Configuración de entradas y salidas mediante bus de campo



Nota: configuración de entradas y salidas mediante protocolos de bus de campo.

A partir del siguiente parámetro será configurar el tipo, modelo y las características del motor, con esto se termina la configuración del Control Unit.

Como último paso será configurar el protocolo del bus de campo que será mediante

Profinet y a su vez se debe configurar el telegrama de comunicación. El telegrama a utilizar será el SIEMENS 352, PZD -6/6 (Figura 24) este telegrama como se presenta en la tabla 10 es utilizado para la comunicación entre un controlador y un convertidor de frecuencia a través de la red Profinet. PZD-6/6 hace referencia a que hay 6 palabras de datos de proceso enviadas desde el controlador al convertidor y 6 palabras de datos de proceso enviadas desde el convertidor al controlador. Las palabras enviadas por el controlador pueden contener instrucciones como la palabra de control y el punto de ajuste de velocidad, mientras que las palabras enviadas por el convertidor pueden contener datos como la palabra de estado, la velocidad real y el código de falla. Todos los telegramas completos se pueden observar en el Anexo B.

Tabla 10

Telegrama de comunicación 352

PKW	PZD01	PZD02PZD03	PZD04	PZD05	PZD06
Datos recibidos	STW1	NSOLL-A	Datos de proceso para PCS7		
Datos enviados	NIST-A-GLATT	IAIST-GLATT	MIST-GLAAT	WARN-CODE	FAULT-CODE

Nota: La tabla presenta la especificación del telegrama 352 (Siemens, 2022).

Las abreviaturas al telegrama 352 se presentan en la tabla 11 dentro de la configuración del programa STARTER y del datasheet se encuentran estos valores.

Tabla 11

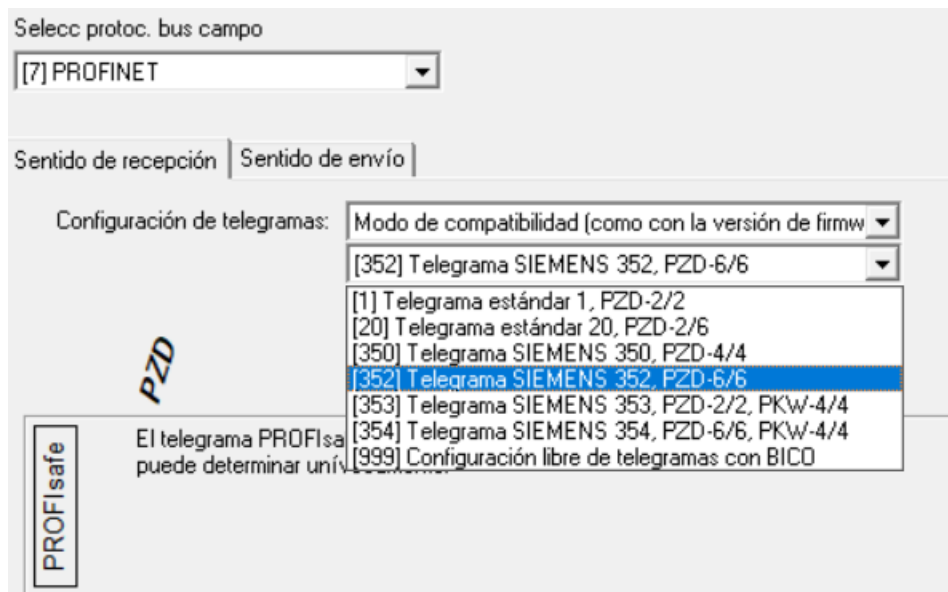
Abreviaturas

Abreviatura	Explicación	Abreviatura	Explicación
STW	Palabra de mando	MIST-GLATT	Par real filtrado
ZSW	Palabra de estado	WARN-CODE	Código de alarma
NSOLL-A	Consigna de velocidad	M-LIM	Límite de par
NIST-A	Velocidad real	FAULT-CODE	Número de fallo
NIST-A-GLATT	Valor de velocidad real filtrada	IAIST-GLATT	Intensidad real filtrada

Nota: La tabla presenta las abreviaturas del telegrama 352 con sus respectiva definición (Siemens, 2022).

Figura 24

Configuración del telegrama para la comunicación



Nota: Configuración para el protocolo y telegrama de comunicación del variador.

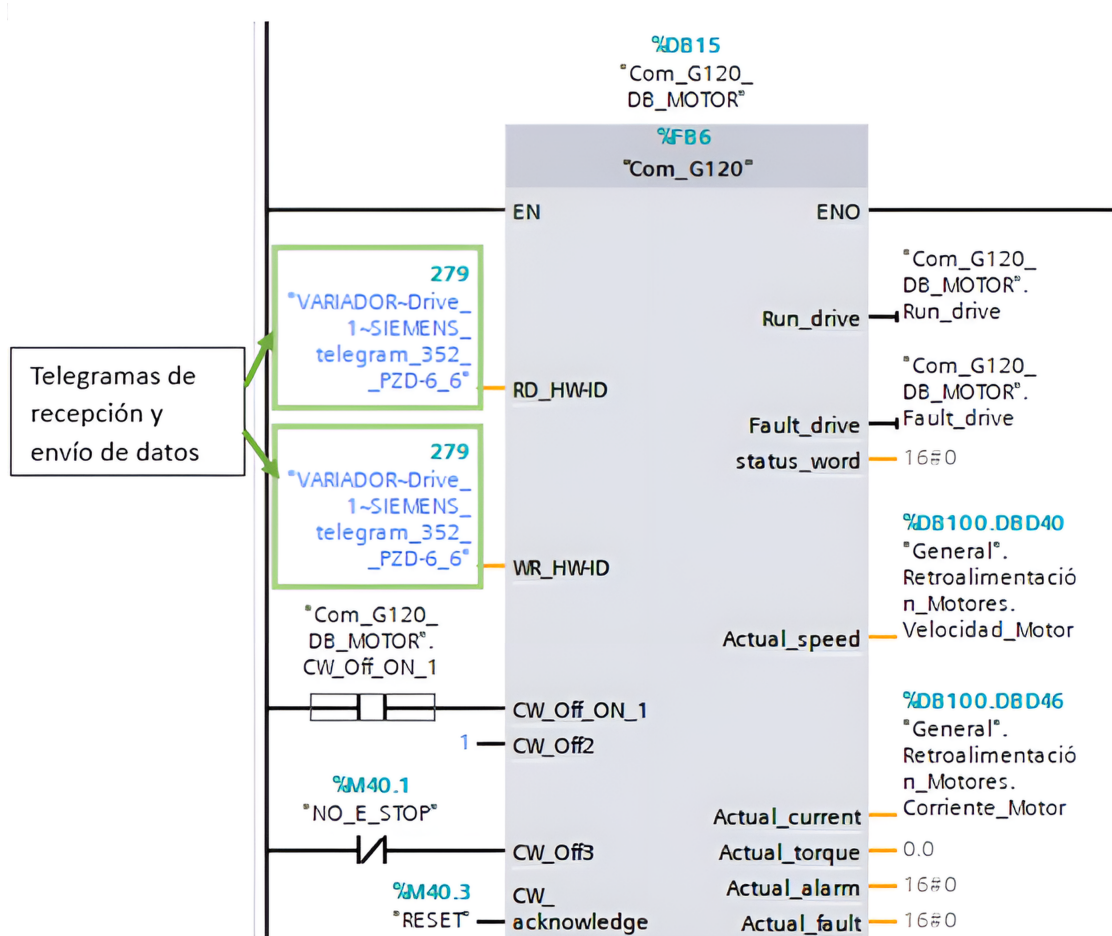
Configuración TIA Portal

El variador utiliza Profinet como su protocolo de comunicación específico de la marca Siemens. En el software, es necesario mostrar todos los dispositivos mencionados en la figura 15.

Para realizar el intercambio de información con el variador G120, es esencial establecer una configuración mediante un Bloque de Datos (DB), tal como se detalla en las figuras 25 y 25. Este DB debe contener el conjunto de instrucciones para recibir y enviar telegramas, lo que permite encender el variador y ajustar los parámetros eléctricos que se visualizan en el SENTRON PAC3200.

Figura 25

Telegramas de comunicación del variador



Nota: DB con entradas de escritura y lectura para la comunicación al variador de frecuencia.

La configuración indicada en la figura 25 permite leer y escribir datos en mediante el bloque Com_G120 , los parámetros que pueden ser enviados indicados en la figura 26. estos parámetros considerados para el arranque del variador.

Figura 26

Parámetros de configuración del variador Sinamics G120 de la marca Siemens

Número	Nombre
p0731	BI: CU Fuente de señal para borne DO 1 / CU F_s DO 1
p0732	BI: CU Fuente de señal para borne DO 2 / CU F_s DO 2
p0806	BI: Bloquear mando / Bloq. ManPC
p0870	BI: Cerrar contactor principal / Cerr contact ppal
p0922	PROFIdrive PZD Selección de telegrama / PZD Selec_telegr
p1080[0...n]	Veloc. giro mín. / n_mín
p1082[0...n]	Velocidad de giro máxima / n_máx
p1520[0...n]	CO: Límite de par superior / M_máx sup
p2000	Velocidad de giro de referencia Frecuencia de referencia / n_ref f_ref
p2001	Tensión de referencia / Tensión de ref.
p2002	Intensidad de referencia / I_ref
p2003	Par de referencia / M_ref
p2006	Temperatura de referencia / Temp ref
p2030	Int. bus de campo Selección de protocolo / B_campo protoc
p2038	PROFIdrive STW/ZSW Interface Mode / PD STW/ZSW IF Mode
p2079	PROFIdrive PZD Selección de telegrama ampl / PZD Tel ampl
p7763	KHP Lista de excepciones del OEM Cantidad de índices para p7764 / KHP p7765
p7764[0...n]	KHP Lista de excepciones del OEM / KHP list_exc OEM

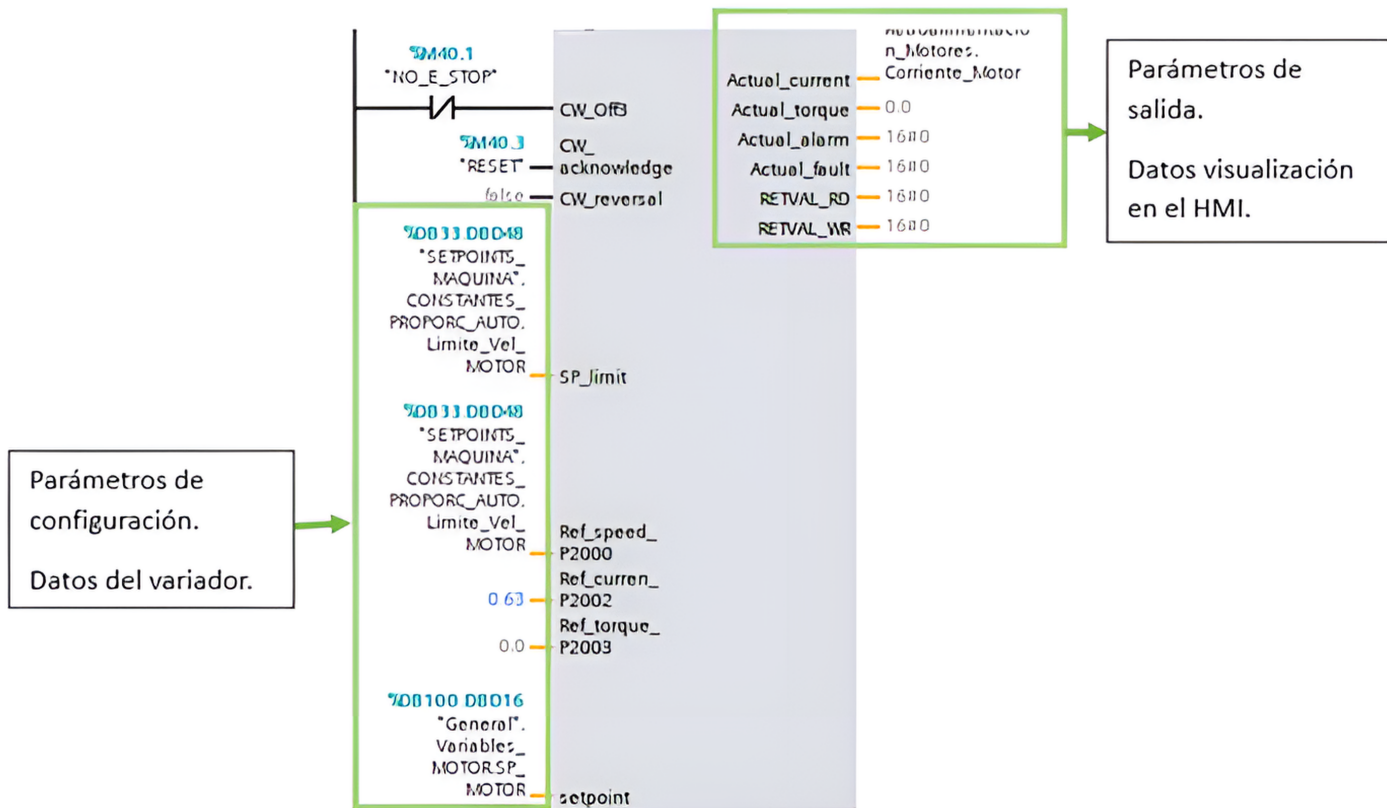
Nota: Bloque de datos de los parámetros de configuración obtenidos del datasheet del variador de frecuencia sinamics G120 de la marca Siemens.

En TIA Portal las entradas se señalan en la figura 27. en el DB15, direccionando los valores mediante el HMI, estos valores serán:

- P2000: es la velocidad de giro que necesita en el proceso (setpoint).
- P2002: intensidad de referencia (datos del motor a utilizar).
- P2003: es el par a generar el motor dentro del proceso (setpoint desde el HMI).

Figura 27

Parámetros de referencia en el bloque de comunicación del variador



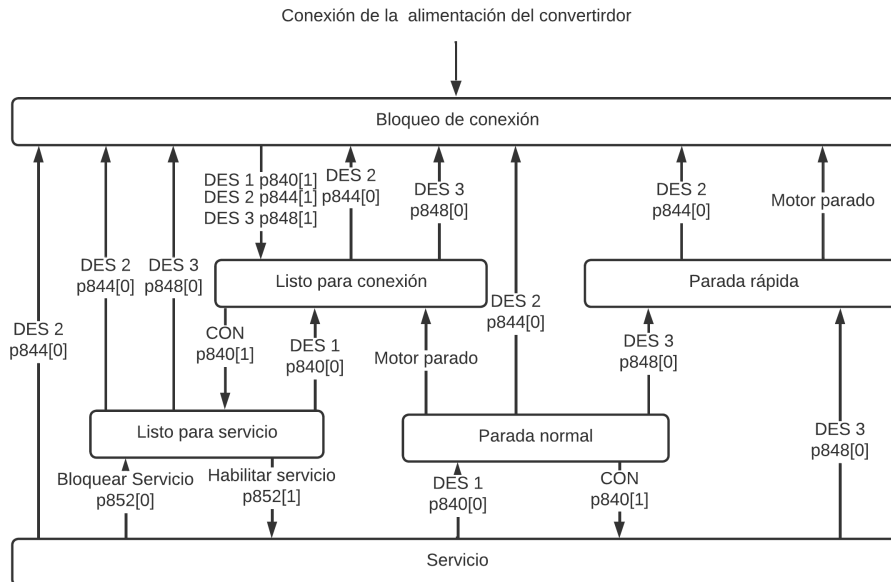
Nota: Bloque de datos del setpoint de datos del variador y los parametros obtenidos de lectura del motor.

Estados del variador

En la figura 28 la secuencia de estados del variador previo a la puesta en marcha del motor. Los estados cambian dependiendo de los parámetros establecidos del variador, en la tabla 1 de Anexos. Por ejemplo, si se requiere poner en servicio al variador, se requiere activar los parámetros DES 1, DES2, DES3 en "1". A su vez, si el variador está en servicio y se necesita una parada rápida, se tiene que activar en "0" el parámetro DES 3. Los parámetros del variador se visualizan en el Anexo B de los cuales se ocuparán los necesarios para el proceso en la siguiente figura.

Figura 28

Estados del variador previo al arranque del motor



Nota: Esquema de estados y variables que interactúan en el arranque del variador (Siemens, 2022).

5.3. Regulación del motor

Para el control del motor se realiza mediante la regulación U/f lineal, donde según el datasheet del variador Siemens (2022) nos dice que la frecuencia de salida requerida está determinada principalmente por la velocidad deseada y el número de pares de polos del motor. Este regulador lineal contrarresta las caídas de voltaje ocasionadas por la resistencia del estátor.

5.3.1. Regulación de la velocidad del motor

Para evaluar el desempeño del regulador, se deben cumplir ciertos requisitos:

- La carga debe tener un momento de inercia constante e independiente de la velocidad

de rotación.

- Durante la aceleración, el convertidor no debe llegar a los límites de par establecidos.
- El motor debe operar dentro del rango del 40% al 60% de su velocidad nominal.

Optimización Para mejorar el rendimiento del regulador de velocidad según (Siemens, 2022) los pasos son los siguientes:

- Establezca una velocidad objetivo cercana al 40% de la velocidad asignada.
- Espere hasta que la velocidad real del motor se haya estabilizado.
- Incremente gradualmente la velocidad objetiva hasta un máximo del 60% de la velocidad asignada.
- Observe detenidamente el progreso correspondiente de la velocidad objetivo y la velocidad real del motor.
- Ajuste el controlador optimizando la relación entre la carga y el momento de inercia del motor (p0342).

5.4. Diseño interfaz gráfica

La implementación de la interfaz gráfica debe ser de fácil entendimiento para los operarios, la visualización de señales de sensores debe ser clara y entendible. Para el sistema a supervisar y monitorear se debe visualizar los siguientes parámetros: voltaje de alimentación del motor, velocidad, torque y energía consumida.

También se obtiene la posición de la banda que transporta el material hacia la tolva de la trituradora, esto mediante una señal de un sensor infrarrojo accionando la máquina automáticamente, si la máquina se encuentra en modo semiautomático, necesitará la intervención del operario.

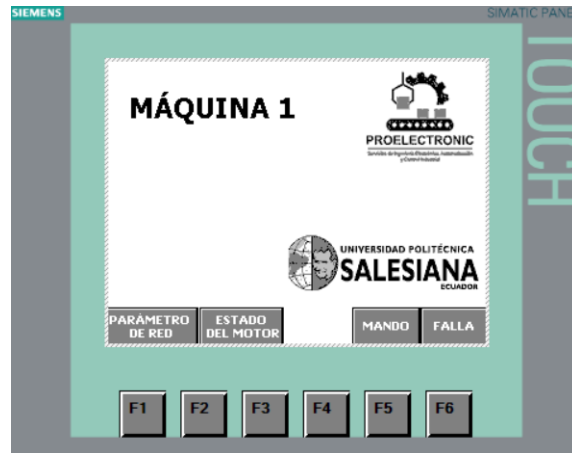
La interfaz gráfica (figura 29) consta de 5 ventanas:

- Principal
- Parámetros de red
- Estado del motor
- Mando
- Fallas

- Ventana de Principal: La ventana de inicio se muestra en la figura 29, tiene los siguientes apartados explicados en la tabla 12: - Logotipo de la empresa - Logotipo de la Universidad - Botones de acceso

Figura 29

Diseño de la interfaz del HMI



Nota: Ventana principal que indica la visualización de parámetros en el software TIA Portal

Tabla 12

Botones de acceso en la venta principal

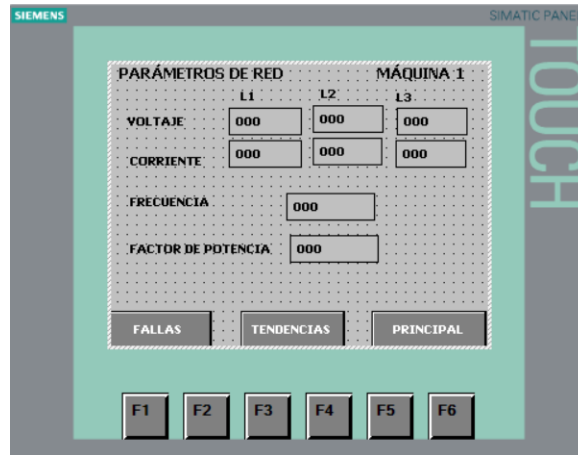
Botón	Función
Parámetros de Red	Ingresa en la ventana para visualizar los datos eléctricos del motor
Estado del motor	Indica a qué parámetros está trabajando el motor
Mando	Cuando el selector esté en semiautomático, este botón permitirá el ingreso a esta ventana para accionarlo
Falla	ingresa a la ventana de avisos y fallas

Nota: Botones de acceso que permitirán la navegación en el HMI

- **Parámetros de red:**

Figura 30

Ventana de parámetros de red



Nota: Representa los parámetros eléctricos medidos

En la tabla 13 se indica los parámetros eléctricos que podrán ser medidos en el motor.

Tabla 13

Parámetros visualizados en la ventana de parámetros de red

Item	Función
Voltaje-L1	Lectura del voltaje en la Linea 1
Voltaje-L2	Lectura del voltaje en la Linea 2
Voltaje-L3	Lectura del voltaje en la Linea 2
Corriente L1	Lectura de la corriente en la Linea 1
Corriente L2	Lectura de la corriente en la Linea 2
Corriente L3	Lectura de la corriente en la Linea 3
Frecuencia	Lectura de la frecuencia del motor
Factor de potencia	Lectura de factor de potencia del motor

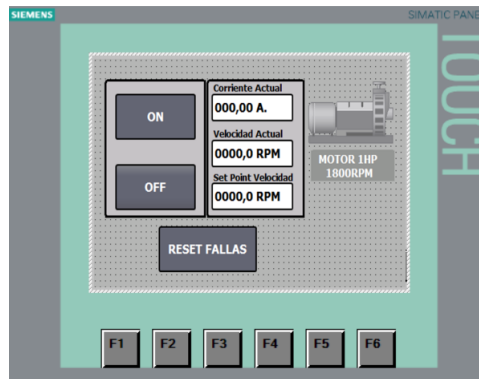
Nota: Ventana lectura de datos eléctricos del motor.

- **Estado del motor**

En la ventana “estado del motor” (figura 31) se visualiza los parámetros de trabajo del motor que los operarios requieren para comprobar que el material se esté triturando a la velocidad asignada.

Figura 31

Ventana del estado del motor



Nota: Indica el estado del motor su velocidad y corriente actual

En la tabla 14 se indica los valores de entrada y los parámetros a visualizar en la ventana.

Tabla 14

Parámetros y botones para el estado del motor

Item	Función
Corriente actual	Presenta la corriente del motor
Velocidad actual	Presenta velocidad del motor
Setpoint velocidad	ingresa la velocidad que desee asignar

Botón	Función
On	Encendido de la máquina.
Off	Apagado de la máquina.
Reset fallas	Resetea las fallas en caso de existir alguno.

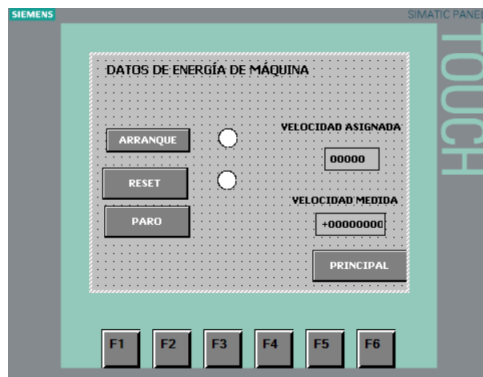
Nota: Parámetros que representan el estado del motor en caso de asignación semiautomático mediante el selector.

■ **Mando**

La ventana “mando” (figura 32) cuenta con botones que permiten el accionamiento de la máquina en caso de existir alguna falla o complicación en el sistema.

Figura 32

Ventana de mando en el HMI



Nota: Esta ventana permite el control de la máquina en caso existir fallas

Tabla 15

Parámetros y botones para el mando del motor

Item	Función
Velocidad asignada	se ingresa una velocidad
Velocidad medida	se visualiza la velocidad medida

Botón	Función
Arranque	Arranca la máquina.
Reset	Resetea la máquina.
Paro	Detiene el proceso
Principal	Retorna a la venta principal.

Nota: Se describe los parámetros para accionar la máquina en caso de fallas

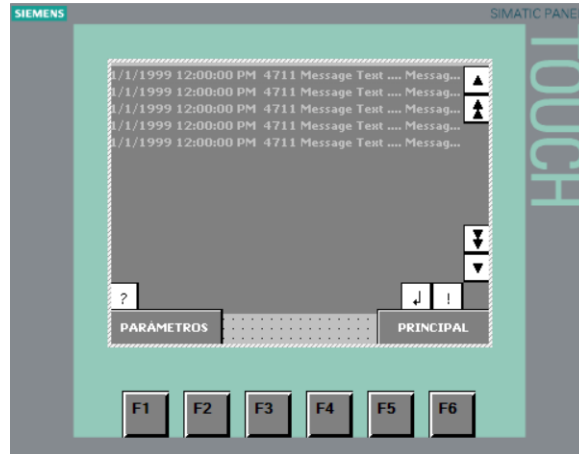
▪ **Fallos**

La figura 33 indica la ventana de fallos que se generara en caso de que exista los siguientes fallos.

- Fallo de arranque del motor.
- Fallo del bloqueo de conexión del variador.
- Fallo del sobrecalentamiento del variador
- Fallo de desconexión del variador.
- Fallo parada del motor.
- Fallo parada de emergencia.

Figura 33

Ventana de fallos en el HMI



Nota: La ventana del HMI mostrará los fallos en el sistema de monitoreo.

6. Resultados

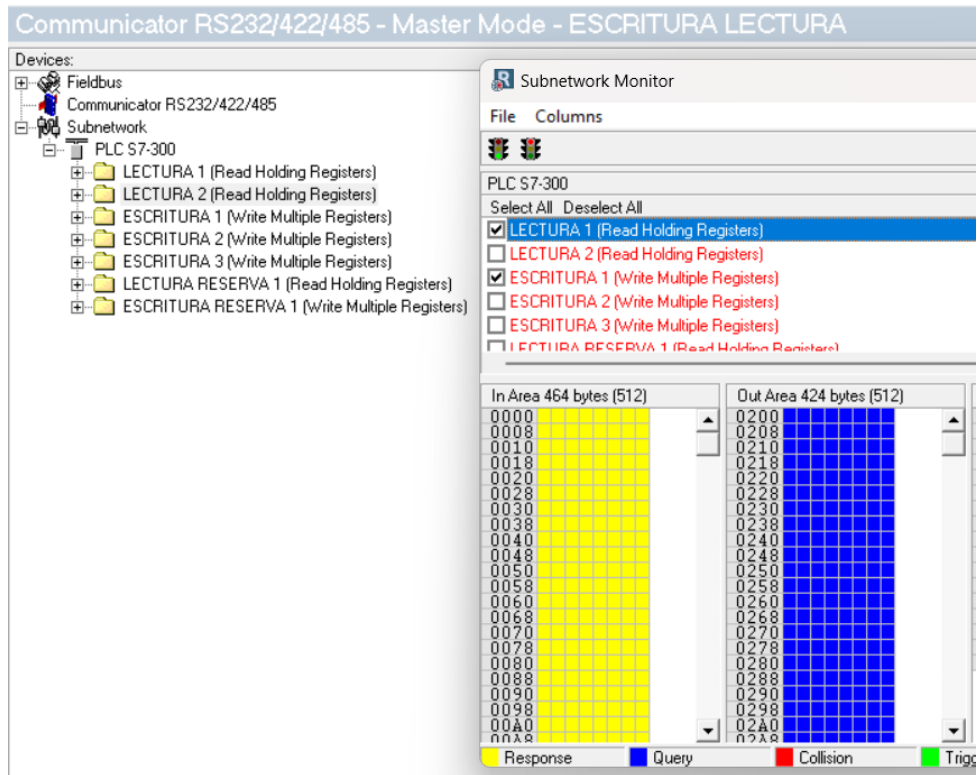
En este apartado se describe la validez de la lógica de automatización, la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos a través de la red industrial implementada.

Se comprueba que la programación mediante la lógica planteada cumple con los objetivos de accionamiento, obteniendo la secuencia lógica en el software para accionar la máquina y tener el control.

La primera prueba del PLC S7 300 con interfaz Profibus mediante un gateway ANYBUS para la comunicación con la CU-E2PB con comunicación Modbus no dió resultados positivos, la transferencia de telegramas desde el ANYBUS al PLC mostrada en la figura 34 únicamente recibe datos del PLC, pero no realiza la escritura en el variador, a su vez los cambios en la palabra de estado no mantuvieron comunicación en ningún momento, además fue necesario revisar la configuración del fabricante del variador, ya que se recibieron únicamente los datos del PLC y no del variador, que permitió verificar la existencia de un parámetro que le impida la integración y cambio de protocolo.

Figura 34

Recepción/envío telegramas ANYBUS



Nota: Espacio de memorias ocupadas por los telegramas de datos para el PLC y el Variadot.

Debido a esto, se integró nuevos dispositivos mediante la red Profinet para comunicar la CU del variador de velocidad y el PLC S7-1200 sin la necesidad del gateway permitiendo así la transmisión de datos. En la tabla 16 se presenta la comprobación de la comunicación teniendo 0% de paquetes perdidos. El equipo que presentó un mayor tiempo de ida y de vuelta es el PLC (IP 192.168.0.1) designado como maestro.

Tabla 16*Tiempo de envío y recepción de datos mediante red*

Equipo	Dirección	Tiempo máx.	Tiempo mín.	Paquetes perdidos
PLC S7-1200	192.168.0.1	4 ms (maestro)	2 ms	0
HMI	192.168.0.2	2 ms	1 ms	0
Sentron Pac 3200	192.168.0.4	2 ms	1 ms	0
Variador G120	192.168.0.5	2 ms	1 ms	0
CP	192.168.0.100	<1 ms	<1 ms	0

Nota: Tiempos de envío y recepción de datos.

La interfaz indica que la máquina está encendida y se puede comunicar, para el intercambio de datos entre los equipos y respuesta de la máquina, según la lógica de programación planteada. Para la comprobación se ingresa un setpoint de velocidad de 1200 rpm para calcular y visualizar los datos del proceso, se indica en la Tabla 17 los valores medidos (datos normalizados en el PLC) y reales (equipos de medición):

Tabla 17*Datos obtenidos con una velocidad de 1200 rpm*

Parámetro	valor real (valor esperado)	valor PLC (valor medido)
Velocidad	1199 rpm	1200 rpm
Corriente	0,63 A	0,6311 A
Torque	0,23 Nm	0,23 Nm
Frecuencia	59,99	59,99 Hz
Voltaje	110v	109,5v
Temperatura	38,8°C	38°C

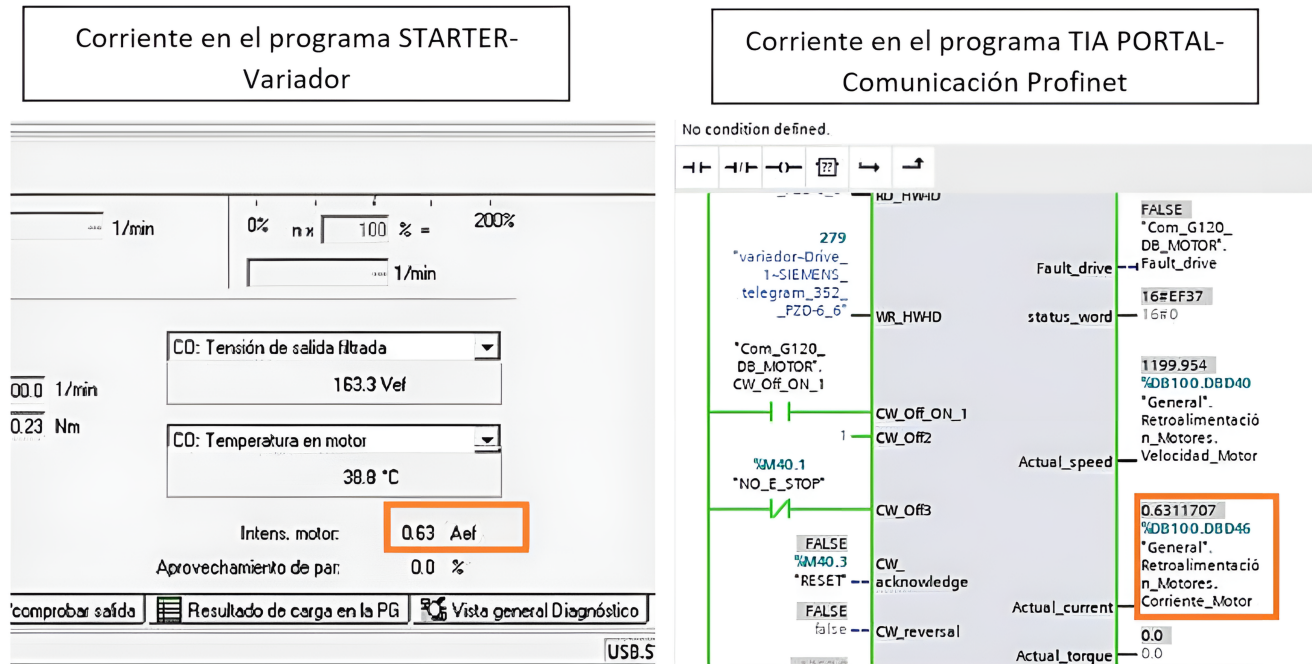
Nota: Parámetros obtenidos con la asignación de una velocidad asignada

En la figura 35 se presenta la comparación de la corriente del motor, esto nos permite

comprobar que existe comunicación desde el variador y transmitidos al PLC.

Figura 35

Resultado de obtención de parámetros

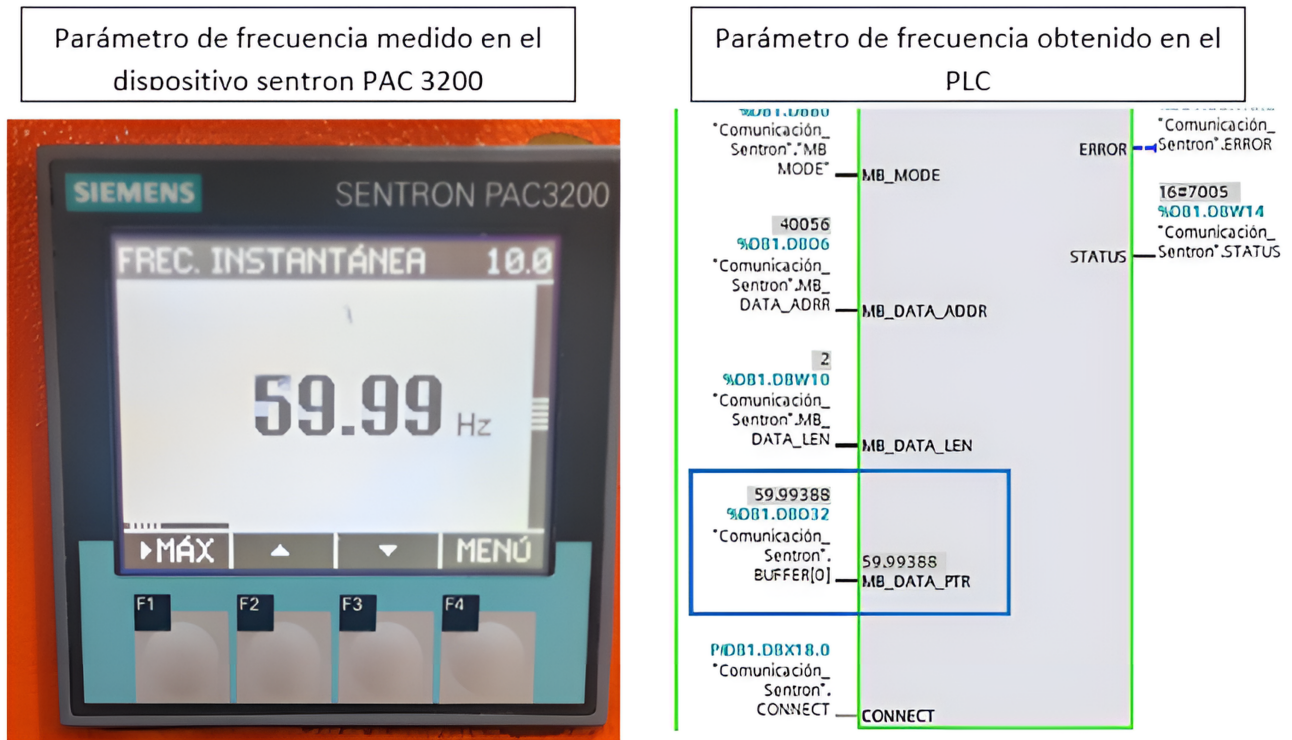


Nota: El envío de datos mediante el protocolo Profinet.

En la figura 36 los parámetros de red medidos en el sentron PAC 3200 comparados con respecto a la recepción del PLC.

Figura 36

Parámetro de frecuencia medido



Nota: Comparación de valores asignados en los dispositivos de envío y recepción.

Con los datos indicados en la tabla 17 se representa los valores en porcentajes de error menor a 1% (tabla 18) dando un error promedio de 0.12% obtenido con la fórmula 6, este cálculo asegura la precisión y confiabilidad de las mediciones en el sistema

$$\text{Porcentaje de error} = \frac{\text{Valor medido} - \text{valor esperado}}{\text{valor esperado}} \quad (6)$$

Tabla 18

Parámetros obtenidos mediante la red observados en el HMI.

Parámetro	Valor Real (Valor esperado)	Valor PLC (valor medido)	Porcentaje de error
Velocidad	1199 rpm	1200 rpm	% 0,08
Corriente	0,63 A	0,6311 A	%0,1746
Torque	0,23 Nm	0,23 Nm	%0
Frecuencia	59,99	59,99 Hz	%0
Voltaje	110v	109,5v	%0,45
Temperatura	38,8°C	38°C	%0

Nota: Parámetros de proceso visualizados mediante el HMI.

7. Conclusiones

En conclusión, en el presente trabajo se realizaron pruebas para la comunicación de un PLC S7-300 con interfaz de comunicación Profibus mediante un gateway ANYBUS como puerta de enlace para la conexión de un variador sinamics G120 con comunicación Modbus, dando la correcta recepción de datos del PLC pero sin recepción de telegramas recibidos del variador.

Se realiza el cambio de dispositivos para la comunicación, donde se conecta de manera directa a una red Profinet obteniendo la recepción y envío de telegramas correcto.

El variador sinamics G120 con CU240E-2PN para el control del motor de la máquina trituradora comunicado mediante Profinet con una recepción de datos con error promedio de 0.08% en los valores medidos lo que indica la precisión y confiabilidad en la comunicación mediante la red. La toma de datos mediante red Modbus en el PLC S7-1200 del medidor de energía Sentron PAC 3200 conectado mediante el protocolo Modbus TCP/IP da un error promedio en el valor de los datos leídos de 0.15% .

La integración de dispositivos de control como el PLC, variador de frecuencia, sensores, dispositivos de comando de entrada y de salidas mediante una red industrial permite el funcionamiento automático de una máquina trituradora. En términos de seguridad, la implementación de avisos, fallos, detección de posibles problemas y la respuesta automatizada a situaciones de riesgo visualizados mediante la interfaz hombre-máquina, brinda protección

del personal y la integridad de la maquinaria, creando un entorno de trabajo seguro.

Mediante la implementación de sistemas de automatización actual, se ha demostrado que es posible tener flexibilidad en la industria, permitiendo que la maquinaria antigua mejore su capacidad de respuesta ante cambios y condiciones de operación, siendo integradas así en un proceso de producción actualizado considerando la relación costo-beneficio.

8. Recomendaciones

A partir de la aplicación se recomienda realizar una investigación más detallada sobre las tecnologías de automatización, sistemas de control y redes industriales utilizadas en la industria, manteniéndose actualizado sobre los avances más recientes en el campo y las mejores prácticas para garantizar una implementación robusta.

Es necesario seleccionar los componentes adecuados para la automatización de la máquina trituradora, como el PLC, los sensores y los actuadores, se debe considerar factores como la compatibilidad, confiabilidad y funcionalidad para garantizar un rendimiento óptimo.

Por otra parte, es necesario incorporar medidas de seguridad adecuadas en el diseño del sistema de automatización, lo que incluye sensores de seguridad, sistemas de parada de emergencia y protocolos de seguridad para garantizar la protección del personal y de la maquinaria. Por último, se recomienda investigar la integración de la máquina trituradora en sistemas de gestión de la producción, como el sistema Manufacturing Execution System (MES) o el sistema Enterprise Resource Planning (ERP), porque esto permitiría un mayor control y planificación de la producción, así como la optimización de los recursos y la coordinación con otros procesos industriales.

9. Cronograma y actividades

Tabla 19

Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																												
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Identificar los parámetros que intervienen en el proceso para el monitoreo de una máquina trituradora de plástico.	Identificación de equipos disponibles.	x	x																							20		
	Revisión de la documentación y planteamiento de topología de red.			x	x																					25		
	Diseño del esquema eléctrico.					x	x																			20		
	Redacción del documento.							x																		10		
Diseñar el sistema automatizado entre un autómata programable y los dispositivos que conforman la máquina trituradora de plástico mediante distintos protocolos de red para el control del proceso.	Instalación de softwares.								x																	15		
	Instalación eléctrica.									x																	20	
	Pruebas de comunicación.										x	x															40	
	Programación de equipos y adquisición de datos.												x	x	x	x											120	
	Pruebas de funcionamiento.																x	x									55	
	Redacción del documento.																	x	x								20	
Integrar en una máquina trituradora un sistema para el monitoreo remoto de su proceso.	Diseño del sistema SCADA.																							x	x		25	
	Pruebas de funcionamiento.																								x	x		20
	Redacción de documento																									x		10
Total de horas empleadas																										400		

Nota: La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

10. Presupuesto

10.1. Talento humano

Tabla 20

Presupuesto de talento humano.

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Edy Ayala	14\$	10	60	840,00 \$
Autor 1	José Nagua	8\$	–	400	3 200,00 \$
Autor 2	Jennifer Sumba	8\$	–	400	3 200,00 \$

Nota: En la tabla se da el costo de las horas por parte de los tesistas y el costo de las horas del director de tesis.

10.2. Recursos materiales

Tabla 21

Presupuesto de materiales.

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Software	2	1 050,00	3 150,00 \$
Laboratorios Empresa	1	7 000,00	7 000,00 \$

Nota: En la tabla 3, los costos de software se refieren a las licencias de: TIA Portal, Eplan Electric que se requieren para la elaboración de este proyecto.

Referencias

- American National Standards Institute (ANSI) and International Society of Automation (ISA). (2010). *Enterprise-control system integration - part 1: Models and terminology* (Standard n.º ANSI/ISA-95.00.01-2010). American National Standards Institute (ANSI) and International Society of Automation (ISA).
- Asensio, P. P., y Arbós, R. (2005). Automatización de procesos mediante la guía gemma. *Barcelona. Edit. Edicions UPC.*
- Belomonte, L. P. (2020). *Comunicaciones industriales y wincc.* Marcombo.
- Bermeo, J., Rea, V., López, R., y Pico, M. (2018). El reciclaje la industria del futuro en ecuador. *Universidad Ciencia y Tecnología, 22(87)*, 8–8.
- Bolaños, J. J. (2019). *Reciclado de plástico pet* (Tesis de Master no publicada). ., [http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLACatólica San Pablo](http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLACatólica%20San%20Pablo)
- Bowne, M. (2018). *The difference between profibus and profinet.* Descargado de <https://us.profinet.com/the-difference-between-profibus-and-profinet/>
- Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley (8a. ed.).*
- Caviedes Aguirre, J. D. (2020). *Diseño de una máquina trituradora para plástico pet* (B.S. thesis). Fundación Universidad de América.
- Córdoba Nieto, E. (2006). Manufacturing and automation. *Ingeniería e Investigación, 26(3)*, 120–128.
- Cushicondor Quinga, L. A., y Monta Guaña, V. S. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora para botellas plásticas pet reciclables con capacidad de 5kg/h* (B.S. thesis).
- Festo. (2021). *La pirámide de las comunicaciones industriales.* Descargado de https://www.festo.com/es/es/e/tendencias/la-piramide-de-las-comunicaciones-industriales-id_669145/
- Florez, J. O. V., y Puentes, Y. J. R. (2012). Universidad nacional abierta ya distancia.
- Hidalgo Sánchez, D. A. (2020). *Diseño de una maquina trituradora de plástico para la comunidad de limoncocha, provincia de sucumbíos-ecuador.*
- Higuera, A. G. (2007). *Cim: el computador en la automatización de la producción.* (Vol. 50). Univ de Castilla La Mancha.
- International Electrotechnical Commission. (2007). *Adjustable speed electrical power drive systems - part 5-1: Safety requirements - electrical, thermal and energy* (Standard n.º IEC 61800-5-1). International Electrotechnical Commission.
- International Electrotechnical Commission. (2010). *Functional safety of electri-*

- cal/electronic/programmable electronic safety-related systems* (Standard n.º IEC 61508). International Electrotechnical Commission.
- International Electrotechnical Commission. (2013). *Industrial automation systems - programmable controllers - part 3: Programming languages* (Standard n.º IEC 61131-3:2013). International Electrotechnical Commission.
- International Organization for Standardization. (2015). *Quality management systems – fundamentals and vocabulary* (Standard n.º ISO 9000:2015). International Organization for Standardization.
- Jácome, F., y Villacís, H. (2014). *Diseño e implementación de un sistema automático para la repotenciación de una máquina inyectora de plástico marca bjc en la empresa isistem*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Mayorga Sosa, J. F. (2016). *Análisis y optimización de un molino de trituración para envases desechables pet* (B.S. thesis).
- Mendoza, L., y Yuen, E. (2019). *Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas pet*.
- Montenegro Palles, J. G. (2015). *Diseño del sistema de control y automatización para una trituradora de endocarpio y mesocarpio de coco*.
- NI. (2014, abr). *What is the modbus protocol and how does it work?* Descargado de <https://www.ni.com/es-cr/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/the-modbus-protocol-in-depth.html>
- OpenAI. (2021). *GPT-3.5 (ChatGPT)*. <https://openai.com>. (Accedido en julio de 2023)
- Rodríguez Alvarado, B. G., y Córdova Cabada, C. J. (2022). *Diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico* (B.S. thesis).
- Rodríguez, B., y Córdova, C. (2022). *Diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico*. (Inf. Téc.). Universidad Politécnica Salesiana. Descargado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23933/1/UPS-GT004118.pdf>
- Romero Ardila, D. C., y Anzola Lozano, N. L. (2012). *Manufactura integrada por computadora cim*.
- Sanchis, R., Romero, J., y Ariño, C. (2010). *Automatización industrial* (U. J. I, Ed.). <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/24182>: Universitat Jaume I.
- Sarmiento Paute, A. F. (2020). *Adquisición y visualización de parámetros eléctricos de un motor trifásico mediante el uso de un módulo de internet industrial de las cosas* (B.S. thesis). Universidad del Azuay.
- Serna, C. A. S., y Ortiz, L. C. C. (2011). *Buses de campo y protocolos en redes industriales*. *Ventana informática*(25).

- Siemens. (2002). *Documentación de aprendizaje y formación: Bloques de datos en programación avanzada*. Descargado de <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/classic/advanced-programming/b04-data-blocks-es.pdf>
- Siemens. (2020, Junio). Simatic s7-1200 actualización del manual de sistema s7-1200 [Manual de software informático]. Descargado de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet/?format=PDF&caller=Mall&mlfbs=6ES7212-1BE40-0XB0&language=en>
- Siemens. (2022). *Sinamics g120 control unit cu240e-2*. Descargado de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/EC/Catalog/Product/?mlfb=6SL3244-0BB12-1PA1&SiepCountryCode=EC>
- Siemens. (2023). *Multímetro sentron pac3200*. Descargado de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/26504261/multímetro-pac3100-pac3200?dti=0&lc=es-CR>
- Ubicación en google maps*. (2023). <https://www.google.com/maps/place/PROELECTRONIC/@-2.9101078,-79.00332,18.57z/data=!4m6!3m5!1s0x91cd192e9ddf2e71:0xdb5420e1ce5f5b17!8m2!3d-2.9101856!4d-79.0024414!16s%2Fg%2F11qg4yp1km?hl=es&entry=ttu>
- Underwriters Laboratories. (1999). *Standard for industrial control equipment* (Standard n.º UL 508). Underwriters Laboratories.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 22

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
Título: AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO A LA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.			
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá automatizar e integrar una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial?	Automatizar e integrar una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial?		Automatización industrial.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	
¿Se podrá identificar los parámetros que intervienen en el proceso para el monitoreo de una máquina trituradora de plástico?	Identificar los parámetros que intervienen en el proceso para el monitoreo de una máquina trituradora de plástico.	VD: Parámetros del proceso.	Funcionamiento de una máquina trituradora de plástico, variador de Frecuencia, motor trifásico, instrumentos de medición.
¿Se podrá diseñar el sistema automatizado entre un autómata programable y los dispositivos que conforman la máquina trituradora de plástico mediante distintos protocolos de red para el control del proceso?	Diseñar el sistema automatizado entre un autómata programable y los dispositivos que conforman la máquina trituradora de plástico mediante distintos protocolos de red para el control del proceso.	VI: Equipos. VD: Protocolos de red.	Redes Industriales (Modbus, Profibus, Profinet) , sistemas de medición y control.
¿ Es posible integrar en una máquina trituradora de plástico un sistema para el monitoreo remoto de su proceso ?	Integrar en una máquina trituradora un sistema para el monitoreo remoto de su proceso.	VI: Máquina. VD: Sistema de monitoreo.	Protocolos de comunicación, sistemas de bus de campo, transmisión de datos, SCADA.

Anexo B: Parámetros de Comunicación

Puesta en marcha ampliada

6.5 Control de accionamientos vía PROFIBUS o PROFINET

6.5 Control de accionamientos vía PROFIBUS o PROFINET



Los telegramas de emisión y recepción del convertidor para la comunicación cíclica tienen la siguiente estructura:

PKW	PZD01	PZD02	PZD03	PZD04	PZD05	PZD06	PZD07	PZD08
Telegrama 1, regulación de velocidad									
	STW1	NSOLL_A							
	ZSW1	NIST_A							
Telegrama 20, regulación de velocidad VIK/NAMUR									
	STW1	NSOLL_A							
	ZSW1	NIST_A GLATT	IAIST_ GLATT	MIST_ GLATT	PIST_ GLATT	MELD_ NAMUR			
Telegrama 350, regulación de velocidad con limitación del par									
	STW1	NSOLL_A	M_LIM	STW3					
	ZSW1	NIST_A GLATT	IAIST_ GLATT	ZSW3					
Telegrama 352, regulación de velocidad para PCS 7									
	STW1	NSOLL_A	Datos de proceso para PCS 7						
	ZSW1	NIST_A GLATT	IAIST_ GLATT	MIST_ GLATT	WARN_ CODE	FAULT_ CODE			
Telegrama 353, regulación de velocidad con área PKW para leer y escribir parámetros									
PKW	STW1	NSOLL_A							
	ZSW1	NIST_A GLATT							
Telegrama 354, regulación de velocidad para PCS 7 con área PKW para leer y escribir parámetros									
PKW	STW1	NSOLL_A	Datos de proceso para PCS 7						
	ZSW1	NIST_A GLATT	IAIST_ GLATT	MIST_ GLATT	WARN_ CODE	FAULT_ CODE			
Telegrama 999, interconexión libre									
	STW1	Longitud de telegrama configurable para los datos recibidos							
	ZSW1	Longitud de telegrama configurable para los datos enviados							

Figura 6-11 Telegramas para comunicación cíclica

Tabla 6-23 Significado de las abreviaturas

Abreviatura	Explicación	Abreviatura	Explicación
STW	Palabra de mando	MIST_GLATT	Par real filtrado
ZSW	Palabra de estado	PIST_GLATT	Potencia activa real filtrada
NSOLL_A	Consigna de velocidad	M_LIM	Límite de par
NIST_A	Velocidad real	FAULT_CODE	Número de fallo
NIST_A_GLATT	Velocidad real filtrada	WARN_CODE	Número de alarma
IAIST_GLATT	Intensidad real filtrada	MELD_NAMUR	Palabra de fallo según definición VIK-NAMUR

Interconexión de datos de proceso

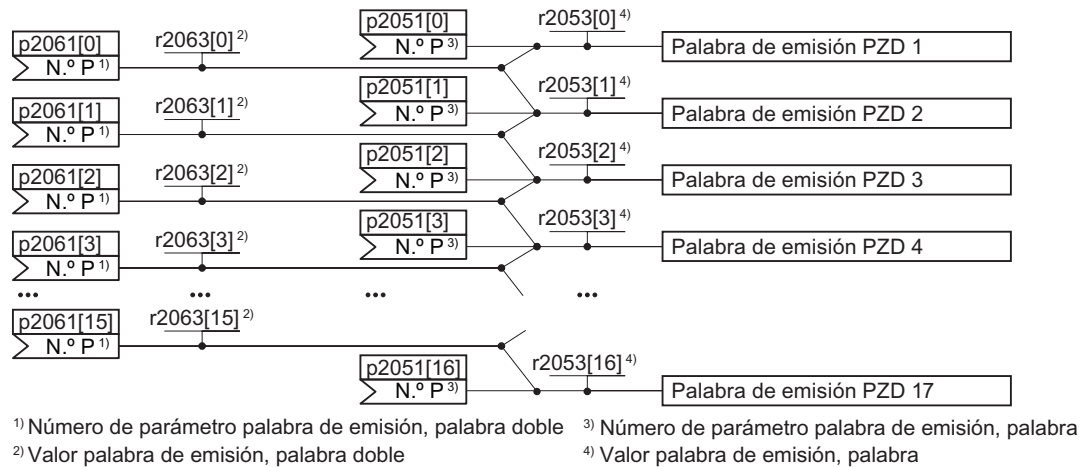


Figura 6-12 Interconexión de las palabras de emisión

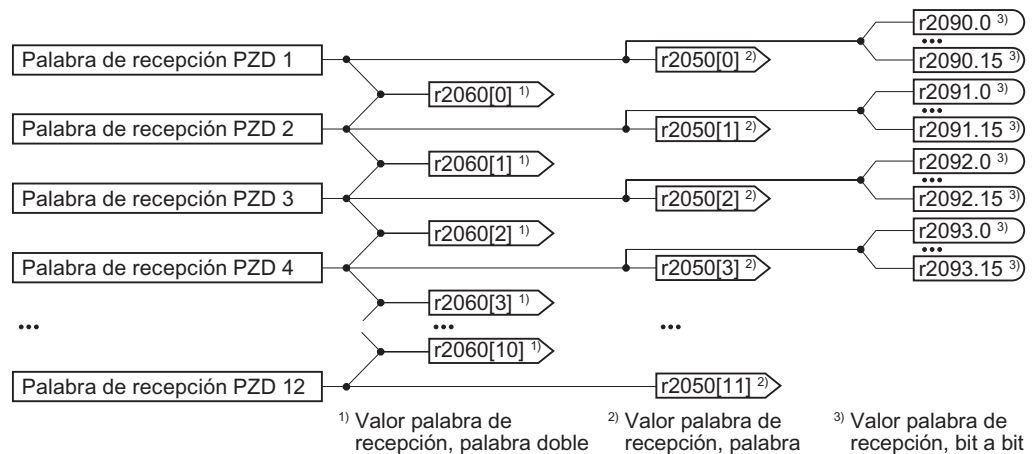


Figura 6-13 Interconexión de las palabras de recepción

A excepción del telegrama 999 (interconexión libre), los telegramas utilizan la transferencia palabra a palabra de los datos enviados y recibidos (r2050/p2051).

Si se necesita un telegrama personalizado para la aplicación (p. ej., transferencia de palabras dobles), puede adaptarse uno de los telegramas predefinidos mediante los parámetros p0922 y p2079. Encontrará más detalles al respecto en los esquemas de funciones 2420 y 2472 del manual de listas.

6.5.1 Palabra de mando y de estado 1

Palabra de mando 1 (STW1)

Bit	Significado		Explicación	Interconexión de señales en el convertidor
	Telegrama 20	Resto de telegramas		
0	0 = DES1		El motor frena con el tiempo de deceleración p1121 del generador de rampa. El convertidor desconecta el motor durante la parada.	p0840[0] = r2090.0
	0 → 1 = CON		El convertidor pasa al estado "Listo para el servicio". Si además el bit 3 = 1, el convertidor conecta el motor.	
1	0 = DES2		Desconectar inmediatamente el motor; a continuación se produce parada natural.	p0844[0] = r2090.1
	1 = Sin DES2		Se puede conectar el motor (orden CON).	
2	0 = Parada rápida (DES3)		Parada rápida: el motor frena hasta la parada con el tiempo de deceleración DES3 p1135.	p0848[0] = r2090.2
	1 = Sin parada rápida (DES3)		Se puede conectar el motor (orden CON).	
3	0 = Bloquear servicio		Desconectar inmediatamente el motor (suprimir impulsos).	p0852[0] = r2090.3
	1 = Habilitar servicio		Conectar el motor (habilitación de impulsos posible).	
4	0 = Bloquear GdR		El convertidor ajusta inmediatamente a 0 su salida del generador de rampa.	p1140[0] = r2090.4
	1 = No bloquear GdR		Es posible la habilitación del generador de rampa.	
5	0 = Detener GdR		La salida del generador de rampa permanece en el valor actual.	p1141[0] = r2090.5
	1 = Habilitar GdR		La salida del generador de rampa sigue a la consigna.	
6	0 = Bloquear consigna		El convertidor frena el motor con el tiempo de deceleración p1121 del generador de rampa.	p1142[0] = r2090.6
	1 = Habilitar consigna		El motor acelera con el tiempo de aceleración p1120 hasta alcanzar la consigna.	
7	0 → 1 = Confirmar fallos		Confirmar el fallo. Si todavía está presente la orden ON, el convertidor conmuta al estado "Bloqueo conexión".	p2103[0] = r2090.7
8, 9	Reservado			
10	0 = Ningún mando por PLC		El convertidor ignora los datos de proceso del bus de campo.	p0854[0] = r2090.10
	1 = Mando por PLC		Mando a través del bus de campo; el convertidor adopta los datos de proceso desde el bus de campo.	
11	1 = Inversión de sentido		Invertir la consigna en el convertidor.	p1113[0] = r2090.11
12	No utilizado			

Bit	Significado		Explicación	Interconexión de señales en el convertidor
	Telegrama 20	Resto de telegramas		
13	--- ¹⁾	1 = Subir PMot	Aumentar la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.	p1035[0] = r2090.13
14	--- ¹⁾	1 = Bajar PMot	Reducir la consigna almacenada en el potenciómetro motorizado.	p1036[0] = r2090.14
15	CDS bit 0	Reservado	Conmutación entre ajustes para distintas interfaces de manejo (juegos de datos de mando).	p0810 = r2090.15

¹⁾ Si se conmuta al telegrama 20 desde otro telegrama, se conserva la asignación del telegrama anterior.

Palabra de estado 1 (ZSW1)

Bit	Significado		Observaciones	Interconexión de señales en el convertidor
	Telegrama 20	Resto de telegramas		
0	1 = Listo para conexión		La alimentación está conectada, la electrónica inicializada y los impulsos bloqueados.	p2080[0] = r0899.0
1	1 = Listo para servicio		El motor está conectado (CON/DES1 = 1); ningún fallo está activo. Con la orden "Habilitar servicio" (STW1.3), el convertidor conecta el motor.	p2080[1] = r0899.1
2	1 = Servicio habilitado		El motor sigue la consigna. Ver la palabra de mando 1, bit 3.	p2080[2] = r0899.2
3	1 = Fallo activo		Existe un fallo en el convertidor. Confirmar fallo mediante STW1.7.	p2080[3] = r2139.3
4	1 = DES2 inactiva		La parada natural no está activada.	p2080[4] = r0899.4
5	1 = DES3 inactiva		La parada rápida no está activada.	p2080[5] = r0899.5
6	1 = Bloqueo de conexión activo		La conexión del motor es posible tras DES1 y CON.	p2080[6] = r0899.6
7	1 = Alarma activa		El motor permanece conectado; no se requiere confirmación.	p2080[7] = r2139.7
8	1 = Divergencia de la velocidad en el margen de tolerancia		Divergencia consigna-valor real en el margen de tolerancia.	p2080[8] = r2197.7
9	1 = Mando solicitado		Se solicita al sistema de automatización que asuma el mando del convertidor.	p2080[9] = r0899.9
10	1 = Velocidad de referencia alcanzada o superada		La velocidad es mayor o igual a la velocidad máxima correspondiente.	p2080[10] = r2199.1
11	1 = límite de intensidad o de par alcanzado	1 = límite de par alcanzado	Se ha alcanzado o superado el valor de comparación para la intensidad o el par.	p2080[11] = r0056.13 / r1407.7
12	--- ¹⁾	1 = Freno de mantenimiento abierto	Señal para la apertura o cierre de un freno de mantenimiento del motor.	p2080[12] = r0899.12

Bit	Significado		Observaciones	Interconexión de señales en el convertidor
	Telegrama 20	Resto de telegramas		
13	0 = Alarma Exceso de temperatura Motor		--	p2080[13] = r2135.14
14	1 = Motor gira a derecha		Valor real interno del convertidor > 0.	p2080[14] = r2197.3
	0 = Motor gira a izquierda		Valor real interno del convertidor < 0.	
15	1 = Indicación CDS	0 = Alarma Sobrecarga térmica Convertidor		p2080[15] = r0836.0/r2135.15

1) Si se conmuta al telegrama 20 desde otro telegrama, se conserva la asignación del telegrama anterior.