

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROYECTO DE ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA MÁQUINA DE
EXTRUSIÓN PARA CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Eduardo Alfredo Ponce Muñoz

Profesor Guía:

Franz Max Yurjevic Perin

2025

RESUMEN

KEYWORDS: TÁNDEM, EXTRUSIÓN, LÍNEA DE EXTRUSIÓN, AUTOMATIZACIÓN

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal realizar la actualización del sistema de control de una extrusora para empresa de fabricación de conductores eléctricos, integrada en una línea de extrusión en modo tandem, mediante la implementación de tecnología compatible con el sistema existente.

En primer lugar, se identifican los problemas asociados al funcionamiento de la extrusora, que actualmente opera con un sistema de control obsoleto, inseguro e incompatible con las tecnologías actuales. A partir de esta evaluación, se proponen diversas soluciones orientadas a mejorar la seguridad, la eficiencia y la integración del sistema.

Se desarrolla un proyecto de ingeniería enfocado en abordar los desafíos derivados de la integración de ambos sistemas de control, detallando la instrumentación necesaria para el monitoreo y control de la extrusora, el reemplazo de equipos obsoletos, los softwares para la configuración y programación de los nuevos dispositivos, y las actividades asociadas a la fase de la puesta en marcha del proyecto.

Finalmente, se realiza la evaluación económica del proyecto, considerando los beneficios esperados con la implementación del nuevo sistema de control, determinando la viabilidad y rentabilidad del proyecto para la empresa, analizando factores como el ahorro en costos operativos, el aumento de la capacidad productiva, la reducción de tiempos de inactividad y la eficiencia energética. Los resultados confirman que la implementación del proyecto no solo es viable, sino que ofrece un retorno de inversión favorable para la empresa.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS	2
1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS	3
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	3
1.1.1 Antecedentes históricos	3
1.1.2 Ubicación	4
1.1.3 Misión.	4
1.1.4 Visión	5
1.1.5 Valores organizacionales	5
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS	5
1.2.1 Trefilado:.....	5
1.2.2 Cordonado:	6
1.2.3 Cableado:	6
1.2.4 Extrusión:	6
1.2.5 Enrollado:	7
1.3 DESCRIPCIÓN DE UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN	7
1.3.1 Desbobinador	8
1.3.2 Oruga de alimentación y arrastre	8
1.3.3 Extrusora.....	8
1.3.4 Canoas de enfriamiento.....	9
1.3.5 Secador	9
1.3.6 Sistema de medición de diámetro.....	9
1.3.7 Spark Tester	9
1.3.8 Impresoras	10
1.3.9 Enrollador	10

1.4	DESCRIPCIÓN DE UNA EXTRUSORA.....	10
1.4.1	Tolva y dosificadores:	11
1.4.2	Sistema de motorización	12
1.4.3	Cilindro o barril	12
1.4.4	Tornillo	12
1.4.5	Cabezal de extrusión.....	13
1.5	PROBLEMÁTICA	13
1.5.1	Descripción del problema	14
1.5.2	Importancia de resolverlo:.....	16
1.6	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	17
1.6.1	Alternativa 1:	17
1.6.2	Alternativa 2:	17
1.6.3	Alternativa 3:	18
1.7	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	18
1.7.1	Alternativa seleccionada.....	20
1.8	SOFTWARES UTILIZADOS.....	20
1.8.1	Totally Integrated Automation Portal	21
1.8.2	Starter	21
1.8.3	Sizer.....	21
1.8.4	Adobe Photoshop	21
1.9	OBJETIVOS	22
1.9.1	Objetivo general	22
1.9.2	Objetivos específicos:	22
CAPÍTULO 2: ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL		23
2	ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	24
2.1	INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA	24
2.1.1	Sensores de temperatura	26
2.1.2	Sensores de presión.....	26

2.1.3	Controlador de velocidad y motor asíncrono de CA	29
2.1.3.1	Motor de CA asíncrono	30
2.1.3.2	Controlador de velocidad SINAMICS.....	32
2.1.4	Interfaz hombre máquina (HMI).....	35
2.1.5	Controlador lógico programable (PLC)	36
2.1.5.1	Definición de variables externas	36
2.1.5.2	Definición de variables internas.....	40
2.1.5.3	Unidad central de procesamiento (CPU)	41
2.2	PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN	42
2.2.1	Configuración del hardware del PLC:	43
2.2.1.1	Configuración de red de los dispositivos:	43
2.2.1.2	Programación del PLC:	45
2.2.1.3	Configuración de HMI:	48
2.2.1.4	Parametrización del VDF.....	54
2.3	FASES DE LA PUESTA EN MARCHA	55
2.3.1	Montaje y conexión	55
2.3.2	Pruebas y validación	56
2.3.3	Optimización y ajustes finos	57
2.3.4	Capacitación al personal operativo	59
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		60
3	EVALUACIÓN ECONÓMICA	61
3.1	ANÁLISIS DE COSTOS	61
3.1.1	Costos directos.....	62
3.1.1.1	Tablero de control y equipos:	62
3.1.1.2	Licencias de softwares	63
3.1.1.3	Ejecución	64
3.1.2	Costos indirectos.....	68
3.1.2.1	Logística y transporte.....	69

3.1.2.2	Adaptaciones mecánicas:.....	69
3.1.2.3	Imprevistos:.....	69
3.2	BENEFICIOS ESPERADOS.....	70
3.2.1	Reducción de no conformidades y de materias primas	70
3.2.2	Incremento de la capacidad de producción	72
3.2.3	Reducción de tiempos de inactividad	73
3.2.4	Eficiencia energética y mantenimiento:	74
3.3	FLUJO DE CAJA PROYECTADO.....	76
3.3.1	Indicadores financieros.....	78
3.3.2	Análisis de sensibilidad	79
CONCLUSIONES.....		83
BIBLIOGRAFÍA.....		84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Vista aérea empresa Covisa S.A., Elaboradora de Cobre.....	4
Figura 1-2. Elementos de una línea de extrusión en modo tándem.....	7
Figura 1-3. Elementos de una máquina extrusora.....	11
Figura 1-4. Extrusora modelo 60 DS.....	14
Figura 2-1. P&ID del proceso de extrusión actual.....	25
Figura 2-2. Diagrama de contactos sensor de presión.....	27
Figura 2-3. Conexiones transmisor de presión.	28
Figura 2-4. Gráfico torque-velocidad.	32
Figura 2-5. Gráfica modular VDF SINAMICS.	33
Figura 2-6. Variables para entradas digitales.....	37
Figura 2-7. Variables para salidas digitales	38
Figura 2-8. Variables para entradas análogas.	39
Figura 2-9. Variables para módulo de entradas y salidas analógicas.	40
Figura 2-10. Variables internas.	40
Figura 2-11. P&ID del proceso de extrusión actualizado.	42
Figura 2-12. Configuración de hardware PLC extrusora.	43
Figura 2-13. Configuración de redes y dispositivos de la extrusora.	44
Figura 2-14. Bloque de datos para comunicación con PLC de la línea de extrusión.	46
Figura 2-15. Estructura de programa.	47
Figura 2-16. Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento de la extrusora.	48
Figura 2-17. Imagen menú principal HMI.	49
Figura 2-18. Imagen control extrusora.....	50
Figura 2-19. Imagen control de diámetro.	50
Figura 2-20. Imagen alarmas presentes.....	51
Figura 2-21. Imagen historial de alarmas.....	51
Figura 2-22. Imagen menú gráficos de variables.	52

Figura 2-23. Imagen gráfico cabezal.....	52
Figura 2-24. Imagen temperatura cilindro extrusora.	53
Figura 2-25. Imagen temperatura cabezal extrusora.....	53
Figura 2-26. Telegrama libre,PZD 8/8	54
Figura 2-27. Configuración datos de proceso controlador SINAMICS.	55
Figura 2-28. Arquitectura de red de la línea de extrusión.	56
Figura 3-1. Diagrama de Gantt de las actividades.....	65
Figura 3-2. Flujo de caja para un financiamiento del 75%.....	78
Figura 3-3. Resultados del análisis de sensibilidad bidireccional sobre el VAN.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas.	19
Tabla 1-2. Cuadro de evaluación de criterios.....	20
Tabla 2-1. Datos técnicos de la termocupla.....	26
Tabla 2-2. Datos técnicos del interruptor de presión.	27
Tabla 2-3. Datos técnicos del transmisor de presión.....	28
Tabla 2-4. Datos técnicos del motor de CC.	30
Tabla 2-5. Datos técnicos motor de CA.....	31
Tabla 2-6. Datos técnicos unidad de potencia.	33
Tabla 2-7. Datos técnicos unidad de control.....	34
Tabla 2-8. Datos técnicos de pantalla HMI.	35
Tabla 2-9. Datos técnicos módulo de entradas digitales.	36
Tabla 2-10. Datos técnicos módulo de salidas digitales.....	37
Tabla 2-11. Datos técnicos módulo entradas analógicas.....	39
Tabla 2-12. Datos técnicos módulo de entradas y salidas análogas.....	39
Tabla 2-13. Datos técnicos CPU.....	41
Tabla 2-14. Red y direcciones IP de los dispositivos.	44
Tabla 3-1. Costos asociados al tablero de control y equipos.....	62
Tabla 3-2. Horas-hombre para actividades técnicas y de ingeniería.	66
Tabla 3-3. Costo total de horas-hombre.	68
Tabla 3-4. Resumen de los costos por categorías.	69
Tabla 3-5. Beneficio esperado por disminución de productos no conformes.....	71
Tabla 3-6. Beneficio esperado por en materias primas.	72
Tabla 3-7. Beneficio esperado por aumento de la velocidad de la línea de extrusión.....	73
Tabla 3-8 Beneficio esperado por reducción de tiempos de inactividad.....	74
Tabla 3-9. Beneficio esperado por eficiencia energética.....	75
Tabla 3-10 Total beneficios esperados del proyecto	75

Tabla 3-11. Tabla de amortización del préstamo.....77

Tabla 3-12. Tasa mínima aceptable de rentabilidad. 77

Tabla 3-13. Indicadores financieros. 79

Tabla 3-14. Beneficios esperados según diferentes porcentajes de velocidad. 80

Tabla 3-15. Beneficios esperados según porcentajes de ahorro de productos no conformes. 81

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

AI	: Analog Input (Entrada analógica).
AO	: Analog Output (Salida analógica).
AWG	: American Wire Gauge.
CA	: Corriente alterna.
CC	: Corriente directa.
CPU	: Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento)
DI	: Digital Input (Entrada digital).
DO	: Digital Output (Salida digital).
HMI	: Human-Machine Interfaz (Interfaz hombre-máquina).
IP	: Internet Protocol (Protocolo de Internet).
P&ID	: Piping and Instrumentation Diagram (Diagrama de tuberías e instrumentación).
PLC	: Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable).
PROFINET	: Process Field Net (Red de campo de procesos).
PVC	: Polyvinyl Chloride (Cloruro de polivinilo).
PZD	: Prozessdatenbaustein (Bloque de Datos de Proceso).
S.A.	: Sociedad Anónima.
THHN	: Thermoplastic (Termoplástico), Heat-resistant (Resistente al calor), Hydrocarbon-resistant (Resistente a hidrocarburos), Nylon-coated Recubrimiento de nailon).

B. SIMBOLOGÍA:

V	: Volts.
%	: Por ciento.
mm ²	: Milímetros cuadrados.
s	: Segundos.
bar	: Bar.
°C	: Grados Celsius.
Nm	: Newton metro
MB	: Megabytes.

INTRODUCCIÓN

COVISA S.A., elaboradora de cobre es una empresa chilena fundada en Viña del Mar en el año 1977, dedicada a la fabricación y comercialización de conductores eléctricos desnudos y aislados para baja tensión. La empresa se ha consolidado como una de las industrias más relevantes de la región de Valparaíso y se distingue por ser la mayor empresa de capitales chilenos en el mercado de conductores eléctricos.

Hoy en día, la empresa ha implementado una bien orientada infraestructura tecnológica. Sus proveedores de equipos y máquinas son los principales fabricantes de Alemania, España e Italia, reconocidos por su especialización en la producción de maquinaria para la fabricación de conductores eléctricos. Esta constante búsqueda de nuevas tecnologías ha permitido mejorar la calidad, cantidad y diversificación de su producción, lo que se refleja en producciones anuales de 6.000 toneladas.

En este contexto, la empresa ha identificado la necesidad de actualizar los sistemas de control de máquinas desactualizadas e incompatibles con las nuevas tecnologías para que no solo optimice su producción, sino que también garantice la calidad y eficiencia de sus procesos, en respuesta a los desafíos operativos derivados de la utilización de tecnologías dispares. la modernización de sus líneas de producción es un paso fundamental en su estrategia de mejora continua, asegurando así su competitividad en un mercado en constante evolución.

CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS

PROBLEMAS Y OBJETIVOS

Este capítulo presenta la problemática a resolver, el método mediante al cual se da solución y se definen los objetivos a cumplir.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

COVISA S.A., elaboradora de cobre, es una empresa chilena fundada en Viña del Mar, con más de 45 años de experiencia en la fabricación y comercialización de conductores eléctricos de baja tensión hasta 1000 V. Sus productos son utilizados en una amplia variedad de sectores, como en minería, subestaciones eléctricas, estaciones de metro, plantas generadoras de energía, aeropuertos e industrias, entre otros.

El compromiso de COVISA S.A. con la innovación y la sostenibilidad la ha consolidado como una de las principales industrias en la región de Valparaíso.

1.1.1 Antecedentes históricos

COVISA S.A. fue fundada en 1977 por el reconocido empresario e ingeniero civil electricista José Hornauer López. Esta empresa se consolidó como un actor clave en la industria del cobre en Chile, aprovechando el vasto conocimiento técnico y la visión estratégica de su fundador.

En la trayectoria de la empresa, destaca la relevancia de su vínculo con RHONA S.A., una de las mayores empresas de transformadores en Chile. El nombre RHONA es un acrónimo que representa los apellidos de sus fundadores: Eduardo Reitz, José Hornauer, Juan Hornauer, Jorge Neuweiler y Luis Aspillaga, todos ellos ex alumnos de la prestigiosa Universidad Técnica Federico Santa María.

1.1.2 Ubicación

COVISA S.A. cuenta con dos sucursales, la casa matriz en Agua Santa #4303, Viña del Mar, y una segunda sucursal en Eduardo Frei Montalva #2193, Independencia, Santiago. En ambas instalaciones se llevan a cabo actividades de almacenamiento, distribución y venta de conductores eléctricos. Sin embargo, es en la casa matriz donde se realiza el proceso de fabricación, garantizando así un control de calidad y una adaptación eficiente a las necesidades del mercado.



Fuente: <https://covisa.cl/seccion/1/empresa.html>.

Figura 1-1. Vista aérea empresa Covisa S.A., Elaboradora de Cobre.

1.1.3 Misión.

Fomentar una cultura de compromiso y superación al interior de nuestra empresa, para conducir la energía que requieren nuestros clientes.

1.1.4 Visión

Ser referentes en calidad, innovación y servicio en el mundo de los conductores eléctricos.

1.1.5 Valores organizacionales

- Colaboración
- Seguridad
- Integridad
- Orientación al cliente
- Mejora continua

1.2 **IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS**

En el proceso de fabricación de un conductor eléctrico se diferencian los siguientes procesos:

1.2.1 Trefilado:

En el proceso de trefilación del alambre, se aplican fuerzas que estiran el conductor, lo que resulta en un aumento de su longitud y una reducción de su sección transversal. Este proceso se lleva a cabo a través de un conjunto de hileras dispuestas a lo largo de la máquina, que permiten reducir de manera controlada el diámetro del conductor, el cual es finalmente almacenado en bobinas o canastillos. Además de alcanzar el diámetro deseado, la trefilación también contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del material, aumentando su resistencia y dureza.

Al mismo tiempo, el alambre trefilado puede ser sometido a un tratamiento térmico cuando se trata de conductores flexibles ya que alivia las tensiones internas generadas durante el proceso y para los cables rígidos no es necesario aplicar este tratamiento.

1.2.2 Cordonado:

Las bobinas del proceso anterior son trenzadas mediante torsión formando cordones. La cantidad de hebras a utilizar para la conformación de cordones dependerá de la sección del cable a producir.

1.2.3 Cableado:

En esta etapa, las bobinas obtenidas de los procesos de cordonado o trefilado se instalan para ser trenzadas, formando cables rígidos o flexibles. La cantidad de hebras y la longitud del paso de torsión se determinan según las especificaciones del tipo de cable que se desea producir.

Además, durante esta etapa se puede incorporar o no el apantallamiento de los cables, que consiste en recubrirlos con una lámina de cobre u otro metal. Este recubrimiento es esencial para mejorar la protección del cable contra interferencias electromagnéticas, asegurando así la integridad de la señal y la eficiencia del sistema eléctrico.

1.2.4 Extrusión:

La palabra extrusión proviene del término extruir, que significa empujar y forzar hacia afuera y es un proceso crucial en la fabricación de conductores eléctricos, que implica el recubrimiento de cables o alambres con diversos tipos de polímeros. El recubrimiento proporciona no solo aislamiento eléctrico, sino también protección mecánica y resistencia a factores ambientales, asegurando la integridad y durabilidad de los conductores en diversas aplicaciones.

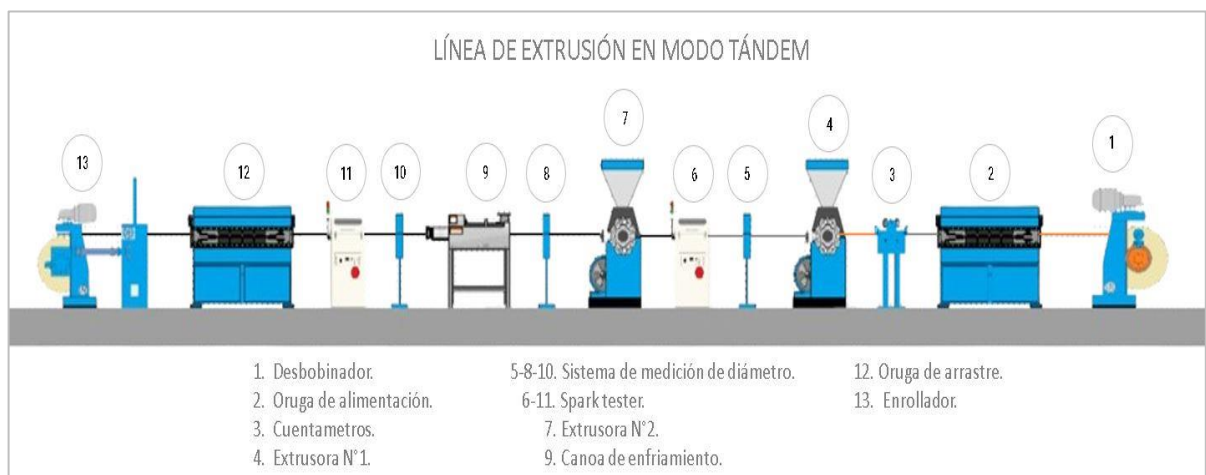
En este proceso, el material aislante proveniente de una tolva, ubicada en la parte superior de la extrusora, se calienta a lo largo de un tornillo o husillo. Este tornillo no solo transporta el material, sino que también lo comprime y lo mezcla de manera uniforme. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, el material fundido se comprime a través de un dado que le otorga la forma deseada al conductor.

1.2.5 Enrollado:

Los cables de menor sección como por ejemplo 1,5 mm², 2,5 mm², 4 mm², 6 mm² y del tipo THHN de 10 AWG, 12 AWG y 14 AWG, son apilados sobre un pallet en rollos de 100 m y empaquetados, listos para ser entregados al cliente final.

1.3 DESCRIPCIÓN DE UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN

Una línea de extrusión para conductores eléctricos se compone de diversos elementos como máquinas, equipos e instrumentos para el proceso de extrusión, como se muestra en la figura 1-2.



Fuente: Elaboración propia, basado en línea de extrusión de la empresa.

Figura 1-2. Elementos de una línea de extrusión en modo tándem.

A continuación, se describen los principales elementos que suele integrar una línea de extrusión para conductores eléctricos:

1.3.1 Desbobinador

El desbobinador es una estructura mecánica que sostiene una bobina de cable desnudo, la cual alimenta la línea de producción. Está equipado con un sistema de freno que asegura que el cable no se desenrolle a una velocidad mayor de la necesaria, ayudando a mantener tensión constante durante el proceso.

1.3.2 Oruga de alimentación y arrastre

En una línea de extrusión, tanto la oruga de alimentación como la oruga de arrastre son máquinas fundamentales para el manejo del cable durante el proceso de producción, pero cumplen funciones ligeramente diferentes.

La oruga de alimentación se encarga de introducir el cable en la línea de producción de manera continua y constante. Esto se logra presionando el cable entre dos bandas de caucho a lo largo de la cinta, donde varios cilindros neumáticos se encargan de sujetar firmemente el cable, arrastrándolo a medida que las bandas giran.

La oruga de arrastre tiene la función de generar una tensión en el cable entre ambas orugas, para luego arrastrar el cable a lo largo de la línea después de haber pasado por la extrusora.

1.3.3 Extrusora

La extrusora es una máquina que se encarga de calentar y fundir polímeros donde el más utilizado es el PVC. El material se introduce en la tolva y, con ayuda del giro de un tornillo sin fin, se empuja hacia adelante dentro de un cilindro. A medida que el polímero avanza, pasa por

diferentes zonas donde se aplica calor. Esto permite que se funda y se convierta en una masa homogénea, lista para ser extruida y darle forma al producto final.

A medida que el material ingresa a la tolva, se añaden colorantes y/o catalizadores antes de ingresar al cabezal. Esto garantiza que el producto final tenga las propiedades y la apariencia deseadas.

1.3.4 Canoas de enfriamiento

La bandeja de enfriamiento es un recipiente que contiene agua a temperatura ambiente, la cual permite reducir la temperatura del material recién extruido. Esto asegura que, al momento de ser almacenado en bobinas, el producto no pierda su forma.

1.3.5 Secador

El secador es el equipo encargado de eliminar restos de agua proveniente de la bandeja de enfriamiento.

1.3.6 Sistema de medición de diámetro

Estos sistemas están compuestos por sensores láser que proporcionan mediciones en tiempo real del diámetro del producto. Pueden estar integrados en el control de la línea, permitiendo ajustes inmediatos, como aumentar o disminuir la velocidad de las orugas o de la extrusora, asegurando así el cumplimiento de los valores de diámetro especificados.

1.3.7 Spark Tester

Este dispositivo genera un alto voltaje que se aplica al conductor para detectar fallas de aislación durante el proceso de fabricación. El voltaje se puede ajustar según el tipo de producto que se esté elaborando.

1.3.8 Impresoras

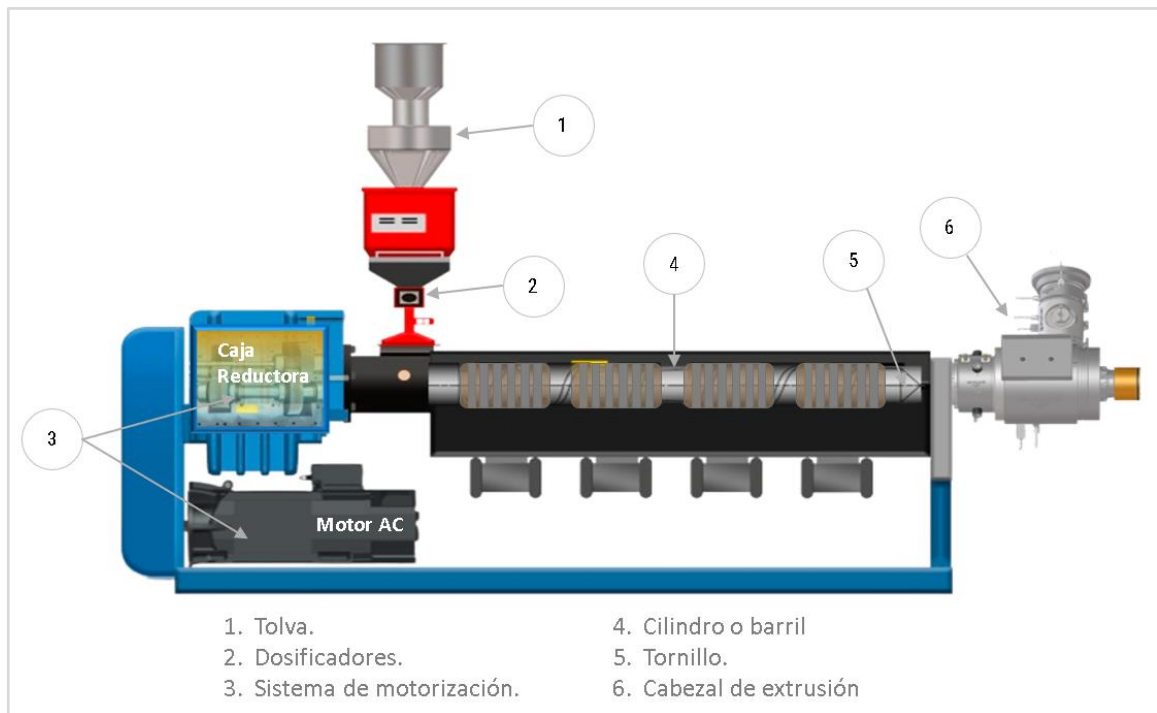
La impresora es un dispositivo diseñado para marcar un texto sobre el producto, facilitando así su identificación. Esta leyenda incluye especificaciones técnicas, como el calibre del conductor, la cantidad de conductores en el caso de cables multiconductores, la temperatura máxima permitida, el voltaje máximo y otras características relevantes.

1.3.9 Enrollador

Es una máquina que cuenta con un eje rotatorio diseñado para girar la bobina y almacenar el producto elaborado.

1.4 DESCRIPCIÓN DE UNA EXTRUSORA

Una extrusora está diseñada para dar forma a una variedad de productos mediante la aplicación controlada de calor y presión. Para ello, se identifican los elementos esenciales que conforman una extrusora, como se muestra en la figura 1-3.



Fuente: Elaboración propia, basado en máquina extrusora de la empresa.

Figura 1-3. Elementos de una máquina extrusora.

A continuación, se describen los principales elementos que suele integrar una línea de extrusión para polímeros:

1.4.1 Tolva y dosificadores:

La tolva es un recipiente cónico diseñado para asegurar un flujo continuo y uniforme de materia prima, lo que ayuda a prevenir problemas de alimentación irregular. Su función principal consiste en almacenar y suministrar materia prima en forma de gránulos a la extrusora. Para facilitar la acumulación automática del material, se utiliza un sistema de succión que transporta los gránulos hacia la tolva, garantizando así un suministro constante, y capaz de advertir al operador cuando se producen problemas en la succión.

Los dosificadores de color permiten un control preciso de la cantidad de colorante incorporado al proceso, asegurando la homogeneidad en el color del producto final para no afectar su calidad. Estos dispositivos están equipados con sensores y sistemas de monitoreo que

garantizan la correcta dosificación y alertan al operador sobre desviaciones en las cantidades programadas, optimizando así el proceso de extrusión.

1.4.2 Sistema de motorización

Este sistema consiste en el conjunto motor y caja reductora. El motor que puede ser de CA o de CC, suministrando la energía necesaria para impulsar el proceso de extrusión, mientras que la caja reductora se encarga de transmitir la potencia del motor al tornillo de la extrusora. El acoplamiento eficiente entre estos componentes es fundamental para lograr un control preciso de velocidad y torque, aspectos críticos para el éxito del proceso de extrusión.

1.4.3 Cilindro o barril

El cilindro de una extrusora contiene el tornillo facilitando el proceso de fusión y transporte del material. Están equipado con bandas calefactoras en su exterior para aumentar la temperatura en diferentes zonas a lo largo del cilindro, fundiendo el material de manera uniforme, garantizando un flujo y presión necesaria para dar forma al producto.

Para mantener un perfil de temperatura adecuado, se instalan sensores de temperatura en contacto directo con la superficie del cilindro, junto con sopladores de aire forzado que reducen la temperatura cuando es necesario, asegurando así el control térmico deseado. La mayor parte de la energía térmica proviene del tornillo, debido a la fricción y compresión del material.

1.4.4 Tornillo

El tornillo es una de las partes más importantes de la extrusora, transporta el material desde la tolva de alimentación hacia el cabezal de extrusión, tiene la función de mover, calentar, fundir y mezclar la materia prima a extruir, generando calor por fricción mientras se mueve. Dentro del tornillo se identifican las siguientes zonas funcionales:

- Zona de Alimentación: Donde el material sólido ingresa y se distribuye.
- Zona de Plastificación: Donde el material se calienta y comienza a fundirse.
- Zona de Compresión: Aquí se incrementa la presión y se mezcla el material.
- Zona de Transporte: Donde el material fundido se mueve hacia el cabezal.

La elección del tipo de tornillo depende de la materia prima a extruir, diferenciando entre polímeros de baja y alta viscosidad, así como aquellos que son sensibles al calor y pueden degradarse fácilmente.

1.4.5 Cabezal de extrusión

Se encuentra al final del cilindro y es fundamental para dar forma al conductor. Está diseñado cuidadosamente para controlar el flujo y presión durante el proceso de extrusión. Se pueden distinguir cuatro zonas: abrazadera, cuello, cabezal y dado. Cada una de estas zonas debe mantener una temperatura adecuada, por lo que están equipadas con bandas calefactoras y sensores que regulan la temperatura sin afectar la calidad del producto.

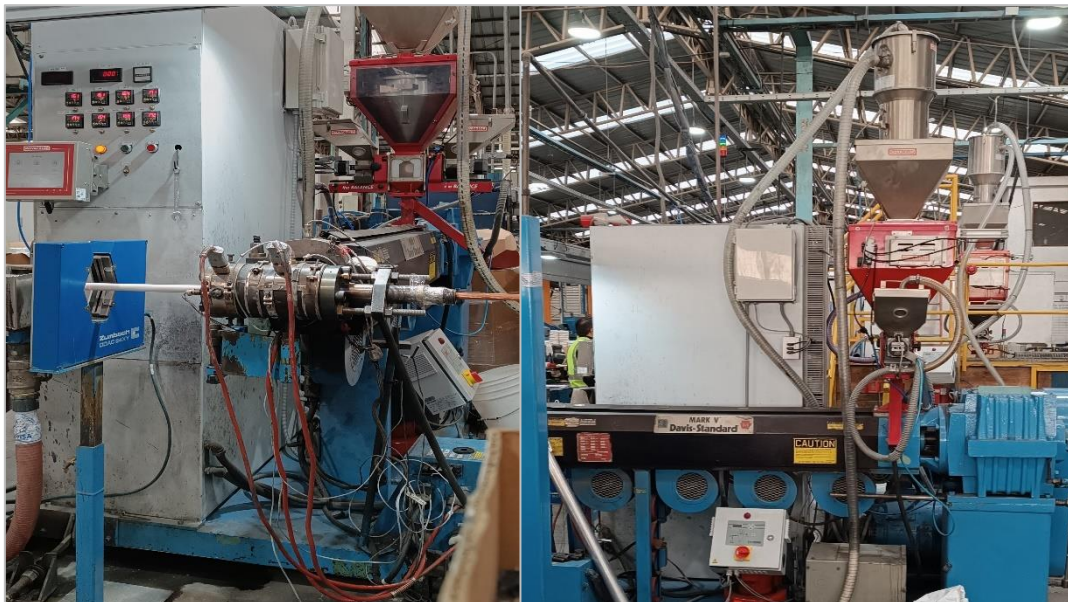
1.5 PROBLEMÁTICA

La integración de una extrusora de última tecnología con otra de tecnología obsoleta, en una línea de extrusión operando en modo tándem, presenta serios desafíos operativos. La incompatibilidad entre sus sistemas de control complica la sincronización de las máquinas, especialmente debido a la falta de integración y comunicación de la máquina antigua, lo que obliga al operador tener que coordinar las máquinas extrusoras de forma independiente producto de un control descentralizado. El uso simultáneo de estas tecnologías dispares no solo compromete la calidad del producto, sino que también incrementa el riesgo de tiempos de inactividad, aumento en los costos operativos o poseer líneas de extrusión poco veloces, haciendo que la empresa sea poco competitiva para el mercado, teniendo que realizar un proceso adicional para no afectar la calidad del producto.

Por otro lado, las extrusoras modernas disponen de funciones de control y monitoreo avanzadas, lo que permite ajustes en tiempo real y una recolección de datos más precisa. En contraposición, las máquinas antiguas carecen de estas capacidades, lo que implica que muchas anomalías no sean detectadas, reduciendo la eficiencia del proceso.

1.5.1 Descripción del problema

La extrusora modelo 60 DS, forma parte de una línea de extrusión en modo tándem, como se observa en la figura 1-4, donde el conductor es recubierto simultáneamente con dos materiales aislantes, requiriendo un alto grado de control y coordinación. En 2020, se modernizó una de las extrusoras de la línea, integrando dispositivos de última generación con protocolos de comunicación PROFINET. Esta actualización mejoró significativamente el control y la eficiencia de la operación al permitir la comunicación rápida entre equipos y la integración de sistemas avanzados de control, como el control automático del diámetro del conductor.



Fuente: Línea de extrusión de la empresa.

Figura 1-4. Extrusora modelo 60 DS.

Cabe destacar que la extrusora *60 DS*, fabricada en 1992, utiliza un sistema de control basado en lógica cableada y señales análogas. Este sistema no solo dificulta la detección de fallas tempranas, sino que también limita su capacidad de integración con las mejoras recientes en la línea de extrusión. Los controladores de temperatura independientes y la falta de centralización del control impiden correlacionar variables críticas como temperaturas, presión y velocidad de la extrusora, lo que sin duda podría optimizar el proceso.

Actualmente, la extrusora carece de sensores de presión, importante para la seguridad y estabilidad del sistema y otro de temperatura que permita medir con precisión la temperatura del material que sale de la extrusión. Esta deficiencia impide verificar si el producto está a la temperatura adecuada o la recomendada por el fabricante, para que no se degrade, evitando tiempos y costos por no calidad.

La extrusora *60 DS* destaca por su versatilidad, ya que, puede ser fácilmente trasladada entre distintas líneas de extrusión o reubicada dentro de una misma línea según las necesidades del proceso. Sin embargo, fue diseñada y fabricada en Estados Unidos y opera con un sistema de alimentación trifásica de 460 V. Actualmente, su movilidad está restringida debido a la necesidad de utilizar un transformador, cuya dimensión lo obliga a estar ubicado de forma fija. Este transformador eleva la tensión de 380 V a 460 V para su funcionamiento.

En cuanto al sistema de motorización, está compuesto por un motor de CC controlado mediante un drive de corriente continua. Este sistema no posee comunicación digital o bus de campo, lo que imposibilita su integración con el resto de la línea de extrusión. Por tanto, su control se limita a señales discretas y analógicas, lo que dificulta considerablemente el funcionamiento en modo tándem.

Adicionalmente, los datos proporcionados por el drive presentan serias limitaciones. Tanto la velocidad como la corriente del motor no están escaladas de manera lineal debido a fallos en la electrónica del drive, lo que genera lecturas incorrectas en el panel del operador. Asimismo, la falta de un sensor para visualizar y monitorear la temperatura de operación del motor es una variable crítica que ayudaría a predecir cualquier anomalía en el motor.

1.5.2 Importancia de resolverlo:

La implementación de un sistema de control de última tecnología mejorara significativamente la eficiencia de la producción, ofreciendo múltiples beneficios:

- Reducción de costos en materias primas: un sistema de control actualizado permite la integración entre el PLC y el controlador de diámetro, cuya función principal es corregir automáticamente las variaciones en el diámetro del conductor actuando directamente sobre la velocidad de la extrusora. Esto reduce la pérdida de materia prima al optimizar la extrusión, garantizando que sólo se utilicen las cantidades necesarias para cumplir con las especificaciones del producto. Como resultado, se logra una reducción significativa en los costos operativos.
- Aumento del rendimiento y capacidad de producción: operar las líneas de extrusión a mayores velocidades incrementa la capacidad de producción de la planta. Esto permite manejar volúmenes más altos sin comprometer la calidad del producto, lo que facilita una respuesta oportuna ante la demanda del mercado.
- Cumplimiento de las demandas del cliente sin retrasos: al implementar una actualización en el sistema de control de la extrusora, se podrá detectar y corregir anomalías antes de que se conviertan en fallas graves, minimizando las paradas inesperadas y reduciendo la necesidad de intervenciones de mantenimiento correctivo, lo que incrementa la disponibilidad de la máquina.
- Mayor seguridad operativa: Un sistema de control avanzado incrementa de manera significativa la seguridad en las operaciones. Al monitorear continuamente las condiciones de la máquina y anticipar posibles fallos, se pueden activar mecanismos de protección, como alarmas, que reducen el riesgo de accidentes y protegen tanto al operador como a la máquina.
- Actualización y modernización de dispositivos: Los dispositivos del actual sistema de control son obsoletos y carecen de repuestos, lo que dificulta su reparación y aumenta el riesgo de paradas prolongadas en caso de fallas. La actualización

permitirá reemplazar estos equipos obsoletos con tecnología moderna, asegurando una operación confiable y evitando tiempos de inactividad por falta de repuestos.

1.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para abordar la problemática, se presentan tres alternativas centradas en seguridad, eficiencia e integración. La evaluación de estas alternativas permite determinar los beneficios, así como viabilidad técnica y económica de cada opción, facilitando la selección de la solución que mejor se ajuste a los requerimientos de la empresa.

1.6.1 Alternativa 1:

Esta solución se centra en la seguridad del proceso de extrusión. Para abordar la falta de medición de la temperatura del material y la presión del sistema, se propone la instalación de instrumentación específica para cada variable. Esto incluye un controlador de temperatura y un termopar capaz de medir temperaturas de hasta 300 °C, proporcionando un valor exacto de la temperatura del material. Además, se sugiere integrar un indicador y un transmisor de presión con un rango máximo de 500 bar, lo que permitirá supervisar la presión en el sistema.

1.6.2 Alternativa 2:

Esta segunda alternativa está orientada en reducir los costos de mantenimiento asociados a un motor de CC, resolviendo a su vez la movilidad de la extrusora al eliminar el transformador al utilizar solamente alimentación trifásica de 380 V.

Se propone instalar un motor de CA que mantendrá las mismas características de velocidad y torque que el motor actual, junto con su sistema de accionamiento correspondiente.

Esta actualización permitirá aumentar la eficiencia del sistema de motorización y mejorar la confiabilidad de variables críticas, como corriente y velocidad, que actualmente son incorrectas. Además de proporcionar una lectura precisa de la temperatura del motor.

1.6.3 Alternativa 3:

Con esta alternativa se busca dar solución total a la problemática al integrar ambos sistemas de control mediante la instalación de tecnología compatible entre la línea de extrusión actual y la extrusora *60 DS*, con el objetivo de mejorar su funcionamiento en modo tándem y lograr una mayor sincronización del sistema.

Con la instalación de un PLC, será posible generar una red de comunicación entre los distintos dispositivos de control. Esto incluye el accionamiento para un motor de CA, la interfaz hombre máquina (HMI) y el PLC de la línea de extrusión.

Con la incorporación de una HMI, se podrán visualizar los datos de variables críticas del motor como también la presión y temperaturas del cilindro, cabezal y material, además de advertir sobre alarmas y fallas durante el proceso. Esto ayudará en la identificación temprana de problemas y en la prevención de paradas no planificadas.

Este control centralizado permitirá que ambas máquinas operen de manera coordinada, ajustando automáticamente la velocidad de ambas extrusoras al incorporar las correcciones del sistema de control de diámetro.

En definitiva, al integrar un sistema de control moderno y centralizado, la línea de extrusión no solo mejorará su eficiencia operativa, sino que también incrementará la competitividad de la empresa en el mercado.

1.7 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A partir de las alternativas de solución presentadas, se lleva a cabo un análisis utilizando criterios ponderados que permitan una comparación objetiva entre ellas, con el fin de determinar cuál es la más factible de implementar. Cada criterio se evalúa en una escala de 1 a 5, donde 1

representa "Muy desfavorable" y 5 "Muy favorable", como se muestra en la tabla 1-1, escala de calificación para cada una de las alternativas. La puntuación final obtenida es el resultado de la suma ponderada de los criterios, siendo seleccionada la alternativa con el puntaje total más alto para su implementación.

Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas.

Muy Desfavorable	Desfavorable	Medio	Favorable	Muy Favorable
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia en base a escala de evaluación.

Los criterios que se tendrán en cuenta al tomar la decisión son cuatro. En primer lugar, se evalúa la viabilidad técnica, que determina la capacidad de la alternativa para integrarse eficientemente en el sistema existente. En segundo lugar, se considera el costo de implementación, donde se analiza la inversión necesaria para llevar a cabo la solución. El tercer criterio es el retorno de inversión, basado en cual solución permite un aumento de la capacidad productiva. Por último, se tiene en cuenta los beneficios operativos, evaluando cómo la alternativa puede mejorar la eficiencia y calidad del producto final.

En la tabla 1-2 se observan los resultados de la evaluación de los criterios de cada alternativa en conjunto con la puntuación final.

Tabla 1-2. Cuadro de evaluación de criterios.

Criterio Alternativa	30% Viabilidad Técnica	25% Costo de Implementación	20% Retorno de Inversión	25% Beneficios Operativos	Puntuación Final
Alternativa 1	3	4	3	3	3,25
Alternativa 2	4	3	4	3	3,50
Alternativa 3	5	2	5	5	4,25

Fuente: Elaboración propia en basada en comparación de alternativas.

1.7.1 Alternativa seleccionada

De acuerdo con la puntuación final obtenida en la grilla de evaluación de criterios, la alternativa que mejor se ajusta a los requerimientos para la actualización del sistema de control de la extrusora es la alternativa número tres. Esta opción resalta por su capacidad para integrar de manera efectiva los sistemas de control en la línea de extrusión, lo que promete una mejora significativa en la productividad del proceso. Aunque su costo de implementación es más elevado, los beneficios a largo plazo en términos de eficiencia y aseguramiento de la calidad del producto justifican esta inversión.

1.8 SOFTWARES UTILIZADOS

En esta sección se presentan los softwares que se utilizarán para el desarrollo de la solución, tanto para la programación del PLC, parametrización y puesta en marcha del motor de CA y la confección de imágenes representativas de la extrusora para la pantalla HMI.

1.8.1 Totally Integrated Automation Portal

Es una plataforma de software desarrollada por Siemens que permite la programación, configuración, visualización y puesta en marcha de los dispositivos automatización de la marca.

Se hará uso de este software para la programación del PLC, de la pantalla HMI y también para la integración con el proyecto existente de la línea de extrusión, facilitando la comunicación y el intercambio de datos entre ambos sistemas.

1.8.2 Starter

Es la herramienta utilizada por ingenieros para la configuración, puesta en marcha y diagnóstico de los accionamientos de la marca Siemens.

1.8.3 Sizer

Es una herramienta de software proporcionada por Siemens que facilita la selección y dimensionamiento de productos de automatización, como motores eléctricos, variadores de frecuencia, controladores y otros componentes del sistema. Este programa ayuda a los ingenieros a dimensionar correctamente los equipos según los requisitos específicos de sus aplicaciones, tales como potencia, velocidad, torque y condiciones operativas.

1.8.4 Adobe Photoshop

Es un software profesional de edición digital de imágenes que se utiliza para crear representaciones visuales de la estructura física de la extrusora. Esto proporciona una comprensión clara y concisa del estado operativo de la máquina extrusora.

1.9 OBJETIVOS

En esta sección se presenta el objetivo general y los objetivos específicos que guiarán el desarrollo del proyecto. Estos están enfocados en implementar la actualización del sistema de control de la extrusora, con el fin de integrarla eficientemente a una línea de extrusión moderna.

1.9.1 Objetivo general

Realizar la actualización del sistema de control de una extrusora en una línea de extrusión en modo tándem para empresa de fabricación de conductores eléctricos.

1.9.2 Objetivos específicos:

1. Describir la situación actual del problema
2. Desarrollar proyecto de ingeniería para la actualización del sistema de control de la extrusora.
3. Realizar evaluación económica del proyecto.

CAPÍTULO 2: ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

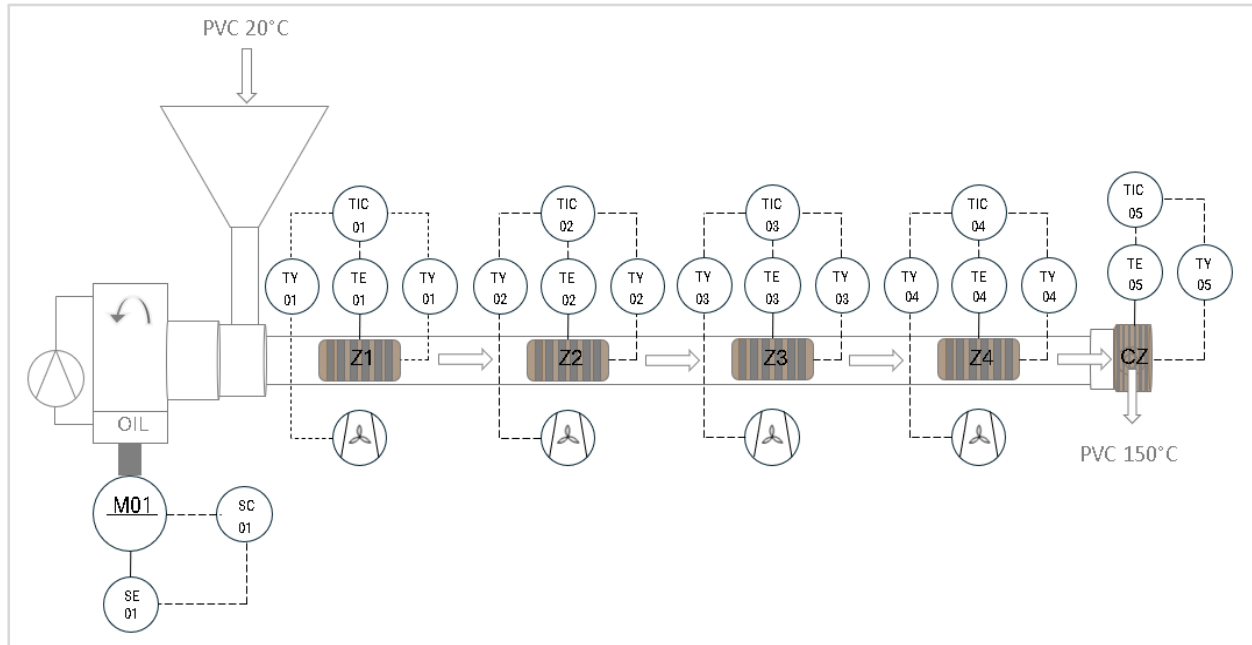
La automatización industrial se hace posible mediante sistemas de control que son esenciales para la supervisión y regulación de procesos. Estos sistemas facilitan la operación eficiente de sensores, indicadores, dispositivos de control y máquinas que interactúan en un proceso, optimizando su funcionamiento y garantizando un alto nivel de precisión. Un sistema de control bien diseñado puede aumentar la eficiencia, seguridad, reducir costos y mejorar la calidad de los productos. Con la actualización del sistema de control, se busca mejorar la eficiencia operativa, minimizar errores humanos y reducir los tiempos de inactividad, siendo flexible y adaptable a las necesidades futuras según los cambios en los procesos de producción, permitiendo reemplazar equipos obsoletos, por dispositivos con tecnología moderna, lo que asegura una operación confiable.

En este capítulo, se desarrolla la instrumentación necesaria para abordar la problemática que surgen al integrar ambos sistemas de control, dando importancia también a la supervisión de variables críticas. Esto se logra mediante la instalación de tecnología compatible entre los dispositivos de la línea de extrusión actual y los nuevos dispositivos para la actualización del sistema de control de la extrusora, con el objetivo de mejorar su funcionamiento en modo tándem y lograr una mayor sincronización del sistema, lo cual es fundamental para optimizar la producción.

2.1 INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA

La figura 2-1 presenta la instrumentación actual de la extrusora, lo que permite obtener una visión clara de los componentes y sistemas utilizados en su funcionamiento. Este esquema es fundamental para comprender el funcionamiento de la máquina en su configuración actual, lo que facilita la identificación de las áreas críticas que deben adaptarse al nuevo sistema de control.

A través de este análisis, se selecciona e implementa una solución más avanzada y eficiente, asegurando una integración exitosa y una mejora en el rendimiento del proceso de extrusión.



Fuente: Elaboración propia, basado en funcionamiento de la extrusora 60 DS

Figura 2-1. P&ID del proceso de extrusión actual.

A continuación, se detallan los sensores y dispositivos de control necesarios para asegurar el correcto y seguro funcionamiento de la extrusora, permitiendo la supervisión de variables como la temperatura en las distintas zonas del cilindro, la presión interna, la velocidad, la corriente, la temperatura y el torque del motor. A través de la comunicación por bus de campo, en este caso PROFINET, estas variables se monitorean en tiempo real en una pantalla HMI. Además, esto facilita la integración con los demás dispositivos de la línea de extrusión, permitiendo centralizar ambos sistemas de control, lo cual es fundamental para garantizar el sincronismo entre las extrusoras.

2.1.1 Sensores de temperatura

La medición de temperatura es fundamental para este proceso, ya que, influye directamente en la calidad del producto y evita la degradación del material a extruir al mantener esta variable dentro de los parámetros aceptables. Entre los sensores utilizados para esta tarea, las termocuplas destacan por su versatilidad y amplio rango de operación. Existen varios tipos de termocuplas que pueden medir temperaturas desde -200°C hasta 1.800°C , y están subdivididas en diferentes composiciones, cada una diseñada para soportar rangos específicos de temperatura. Para este proceso, solo se requiere una termocupla que abarque un rango de temperatura de 0 a 300°C . En la tabla 2-1, se indican los datos técnicos de la termocupla a utilizar.

Tabla 2-1. Datos técnicos de la termocupla.

Tipo	Composición	Rango [$^{\circ}\text{C}$]	Diámetro [mm]	Largo vaina [mm]	Largo Cable [m]	Porta engate
J	Fierro- Constantán	-200 a 600	5	30	2	M 12

Fuente: www.comind.cl/wp-content/uploads/2022/01/Medicion-y-control.pdf?srltid=AfmBOoqCa3KQZJULzUi1nISBqKyhnrdAuj6DFZXoRofw_zSBA0Z1-9Fr.

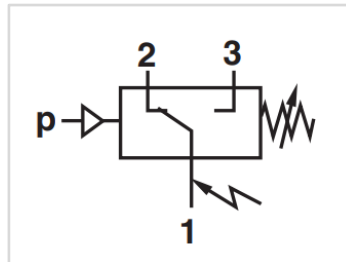
2.1.2 Sensores de presión

Se instalará un interruptor de presión para detectar la presencia de aceite en las cañerías de lubricación de la caja reductora, cuando la extrusora esté en funcionamiento. Este dispositivo garantiza que el aceite esté presente y circulando adecuadamente al interior de la caja reductora, lo cual es crucial para la durabilidad de los engranajes.

El sensor por utilizar posee cuerpo de aluminio con una membrana de fluoroelastómero de Kela (FKM), ideal para aplicaciones industriales exigentes. El aluminio proporciona resistencia a la corrosión, mientras que la membrana de FKM brinda alta resistencia química y térmica, adecuada para entornos con aceites y ácidos. El dispositivo está equipado con un

microinterruptor SPDT donde se puede ajustar la presión para la conmutación de sus contactos. Sus características eléctricas permiten operar con un voltaje de hasta 250 V con una corriente máxima de 100 mA.

En la figura 2-2 se muestra el diagrama de conexión del sensor donde los terminales 1-3 se cierran con el incremento de presión.



Fuente: https://cdn.norgren.com/pdf/IM_VA_18D-ATEX_EN.pdf.

Figura 2-2. Diagrama de contactos sensor de presión.

En la tabla 2-2 se indican las características técnicas de operación del interruptor de presión.

Tabla 2-2. Datos técnicos del interruptor de presión.

Fabricante	Modelo	Rango de Presión [bar]	Presión Máx. [bar]	Viscosidad [mm ² /s]	Temperatura [°C]	Conexión
Norgren	0880380	0,5 a 8	80	1000	0-80	G 1/4

Fuente: https://cdn.norgren.com/pdf/IM_VA_18D-ATEX_EN.pdf

La medición de la presión del material fundido es crucial por dos razones: primero, para garantizar la estabilidad y el control del proceso; y segundo, para la seguridad del sistema. La implementación de un transmisor de presión permitirá monitorear en tiempo real la estabilidad del proceso de extrusión.

El transmisor de presión se conectará al PLC a través de un módulo de entrada analógica, el cual debe estar configurado para una señal de corriente de 4-20 mA de dos hilos, abarcando

un rango de presión de 0 a 500 bar. Asimismo, el transmisor debe ser capaz de operar a temperaturas de operación entorno a las 300 °C.

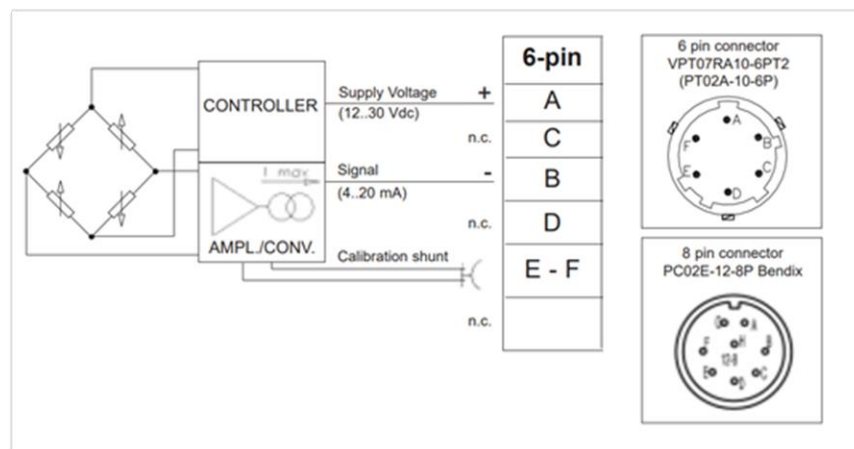
En la tabla 2-3, se describen las características técnicas y eléctricas del transmisor a utilizar, correspondiente al modelo ME1-6-M-B05C-1-4-D fabricado por Gefran.

Tabla 2-3. Datos técnicos del transmisor de presión.

Fabricante	Modelo	Rango de Presión [bar]	Precisión FSO %	Alimentación CC [V]	Salida [mA]	Temperatura Max. [°C]
GEFRAN	ME1	0-500	+/- 0,5	12-30	4-20	538

Fuente: <https://doc.gefran.com/download/?type=product&id=15532&lang=es>.

En la figura 2-3 se representa el diagrama de conexiones eléctricas del transmisor para el conector de 6 pines.



Fuente: <https://doc.gefran.com/download/?type=product&id=15532&lang=es>.

Figura 2-3. Conexiones transmisor de presión.

2.1.3 Controlador de velocidad y motor asíncrono de CA

Actualmente, el sistema que proporciona de energía mecánica a la extrusora se compone de un motor de CC en conjunto con su controlador de velocidad. Sin embargo, este controlador presenta obsolescencia al estar discontinuado por su fabricante, lo que significa que no hay alternativas de repuesto disponibles en el mercado.

La obsolescencia de los repuestos en este caso no solo representa un riesgo significativo para la continuidad del proceso de extrusión, sino que también plantea desafíos a largo plazo en términos de mantenimiento y actualización del sistema. La falta de disponibilidad de repuestos aumenta la probabilidad de detenciones inesperadas, lo que puede impactar negativamente en la eficiencia y rentabilidad del proceso debido a los tiempos de inactividad producto de fallas imprevistas.

Además de lo anterior, esta configuración presenta limitaciones para proporcionar valores reales de variables críticas, como velocidad y torque, que son esenciales para evaluar y garantizar la estabilidad del proceso. Por estas razones, reemplazar el motor de CC por un motor de CA en la extrusora, se presenta como una solución viable para afrontar la obsolescencia actual, mejorar la eficiencia del sistema y aumentar su confiabilidad. El uso de un motor de CA no solo disminuye el desgaste de los componentes, sino también los tiempos y costos de mantenimiento. Además, un VDF con tecnología avanzada permite un monitoreo más efectivo de las protecciones contra anomalías o fallas, garantizando una operación estable y continua.

La tabla 2-4 representa los datos extraídos de la placa del motor de CC. Es importante destacar que el valor nominal de torque no está disponible; sin embargo, más adelante se explicará de qué forma se obtuvo, dado que es un requisito para el reemplazo del motor al utilizar el software Sizer de Siemens.

Tabla 2-4. Datos técnicos del motor de CC.

Rpm	Potencia [Hp]	Torque [Nm]	Voltaje de Armadura [V]	Corriente de Armadura [A]	Voltaje de Campo [V]	Corriente de Campo [A]
1750/2100	40	-	500	66,5	300	3,5/3,0

Fuente: Elaboración propia basado en placa de motor.

Para calcular el torque del motor de CC se utiliza la siguiente formula:

$$T = \frac{P \times 60}{2\pi \times rpm}$$

Donde:

- T es el torque en Newton-metro (Nm)
- P es la potencia del motor en Watts (W)
- rpm es la velocidad del motor en revoluciones por minuto

Con los datos anteriormente proporcionados y utilizando la fórmula antes descrita se calcula el torque nominal del motor, obteniendo como resultado 163 Nm.

Empleando la herramienta de configuración de accionamientos Sizer, se puede seleccionar el motor de CA y el VDF adecuados para esta aplicación, asegurando un torque constante a una velocidad igual a la del motor de CC, que es de 1750 rpm.

2.1.3.1 Motor de CA asíncrono

El motor trifásico seleccionado, especificado para su uso en los manuales de Siemens, pertenece a la serie SIMOTICS M-1PH8, una nueva generación de motores diseñada para aplicaciones industriales como accionamientos en máquinas herramientas y máquinas de producción. Estos motores destacan por su capacidad para soportar ciclos de carga extremos, tiempos de estabilización reducidos y alta precisión en el control de velocidad y torque.

El motor incluye una placa de características electrónica e interfaz DRIVE-CLiQ. La placa de características almacena digitalmente los datos técnicos del motor, como potencia, torque, velocidad nominal, factor de servicio y otros parámetros importantes, lo cual facilita la puesta en marcha y reduce errores en la configuración manual. La interfaz DRIVE-CLiQ, es un protocolo de comunicación desarrollado por Siemens, facilitando la conexión directa entre el motor y los controladores de la serie SINAMICS. Esta interfaz transmite en tiempo real información sobre la posición, velocidad y otros datos esenciales para el control del motor, permitiendo ajustes y monitoreo constantes.

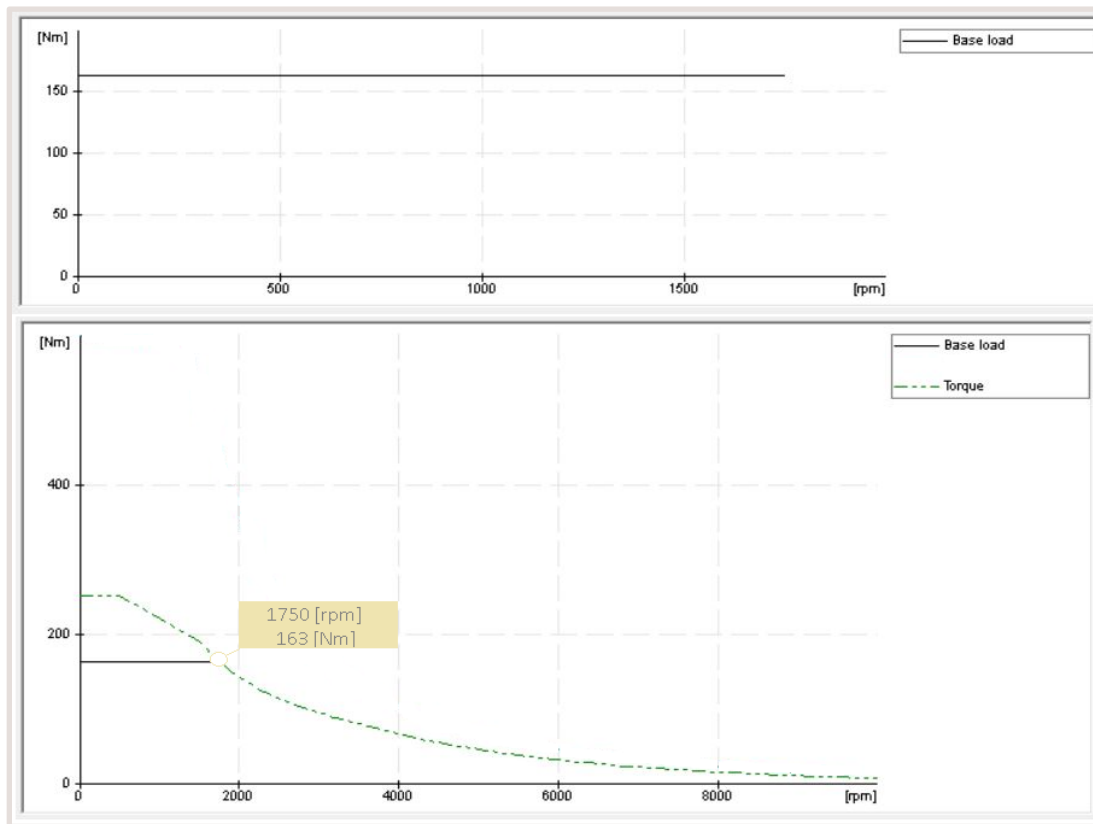
En la tabla 2-5 se indican las características técnicas del motor.

Tabla 2-5. Datos técnicos motor de CA.

Tipo de Motor	1PH8 Asíncrono
Modelo	1PH8163-1UF00-1LA1
Potencia Nominal	30 kW
Torque Nominal	191 Nm
Velocidad Nominal	1500 rpm
Corriente Nominal	71 A
Eficiencia	0,923
Interfaz	DRIVE-CLiQ
Tipo de Carga	Torque Constante
Velocidad Max. Con Carga	1750 rpm
Torque Efectivo Con Carga	163 Nm

Fuente: Elaboración propia basado en resultados del software Sizer.

La Figura 2-4 muestra las condiciones de torque y velocidad requeridas para el proceso. En primer lugar, se representan los valores ingresados por el usuario, que especifican un torque constante de 163 Nm a una velocidad de 1750 rpm. En segundo lugar, se observa la respuesta del motor seleccionado, donde se garantiza el torque constante a la velocidad requerida.



Fuente: Resultados obtenidos por software Sizer de Siemens

Figura 2-4. Gráfico torque-velocidad.

2.1.3.2 Controlador de velocidad SINAMICS

Los controladores SINAMICS, destacan por su arquitectura modular, que separa el módulo de potencia de la unidad de control, permitiendo configuraciones personalizadas para el accionamiento. Esta estructura modular otorga flexibilidad para adaptar el sistema a las necesidades específicas de cada aplicación, facilitando tanto la escalabilidad como la actualización de componentes, sin requerir el reemplazo de todo el sistema. En la figura 2-5 se ilustra las partes que conforman un VDF SINAMICS.



Fuente: Elaboración propia basado en Word, imágenes de <https://lureye.cl/producto/sinamics-g120-pm-240-110-kw-205-a-380-480v-s-filtro/>

Figura 2-5. Gráfica modular VDF SINAMICS.

Utilizando el programa *Sizer*, el controlador asignado para esta aplicación, compatible con el motor previamente seleccionado, es el SINAMICS G120 con la unidad de potencia PM240-2 vector. En la tabla 2-6 se detallan las características técnicas de esta unidad.

Tabla 2-6. Datos técnicos unidad de potencia.

Unidad de Potencia: PM240-2 Vector	
Modelo	6SL3210-1PE27-5AL0
Voltaje	3 AC 400 V
Frecuencia	50 Hz
Interruptor Automático	3RV2041-4MA10
Potencia Nominal	37 kW
Corriente Nominal	75 A

Filtro de Línea	Integrado
Safe Torque Off (Desactivación segura de torque)	SI
Resistencia de Frenado	JJY:023424020001 37 kW Max.

Fuente: Resultados obtenidos por software Sizer de Siemens.

Se incluye además una resistencia de frenado, que permite el frenado rápido de cargas con alto momento de inercia. La unidad de potencia controla esta resistencia mediante su chopper de freno integrado.

La unidad de control seleccionada es la CU250S-2 PN, la cual es una versión mejorada equipada con bus de campo PROFINET para una comunicación más rápida. Posee un mayor nivel de procesamiento, con funciones avanzadas de seguridad y una mayor capacidad de integración, ideal para aplicaciones más complejas y exigentes. En la tabla 2-7, se muestran las características de la unidad de control seleccionada.

Tabla 2-7. Datos técnicos unidad de control.

Unidad de Control: CU250S-2 PN	
Modelo	6SL3246-0BA22-1FA0
Seguridad ante Fallos	Si
Bus de Campo	PROFINET
Entradas Digitales	11
Salidas Digitales	3
Entrada PTC/KTY	1
Entradas Analógicas	2
Salidas Analógicas	2
Panel Operador Básico (BOP)	6SL3255-0AA00-4CA1
Tecnología de Comunicación	DRIVE-CLiQ

Fuente: Resultados obtenidos por software Sizer de Siemens.

2.1.4 Interfaz hombre máquina (HMI)

La implementación de una HMI en una máquina sin interfaz aporta ventajas significativas en control y monitoreo, donde los operadores pueden visualizar parámetros importantes del proceso en tiempo real y detectar fallos rápidamente mediante alarmas. Además, esta interfaz permite centralizar el control, lo cual reduce tiempos de operación y facilita el mantenimiento predictivo al registrar datos históricos y tendencias. La configuración de imágenes para la pantalla HMI tendrá el propósito de ser amigable y compresible para disminuir los tiempos de capacitación a los operadores. Permitirá una integración más sencilla con futuras tecnologías, contribuyendo a la adaptabilidad de la máquina en entornos de automatización avanzada donde la obtención de datos del proceso es fundamental para una mejora continua y optimización de los recursos del área de producción.

Para este proyecto, se utiliza una pantalla Comfort TP1200 de Siemens, ideal para entornos industriales. Este modelo permite una visualización clara de los datos del proceso gracias a su tamaño de 12 pulgadas y resolución para gráficos. Su protocolo de comunicación PROFINET es compatible con los demás dispositivos de la línea de extrusión. En la tabla 2-8 se describen los datos técnicos de la pantalla a utilizar.

Tabla 2-8. Datos técnicos de pantalla HMI.

Nombre	Comfort TP1200
Modelo	6AV2 124-0MC01-0AX0
Versión Firmware	17.0.0.0
Pantalla	TFT de 12.1" (1280 x 800 píxeles, 64K colores)
Conectividad	2 Ethernet - 2 USB- MPI/PROFIBUS
Memoria Externa	SIMATIC HMI Memory Card 2 Gb

Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

2.1.5 Controlador lógico programable (PLC)

El PLC más adecuado para las necesidades de este proyecto y por compatibilidad con el resto de los dispositivos de la línea de extrusión, es un PLC SIMATIC de la serie S7-1500 de Siemens, que destaca por su alto rendimiento y robustez en entornos industriales complejos. Este modelo ofrece una mayor capacidad de procesamiento, con tiempos de ciclo más rápidos y una mayor memoria de trabajo y de datos, facilidad de mantenimiento y personalización en comparación con el S7-1200, siendo la opción ideal para aplicaciones de automatización avanzadas y de control en tiempo real. Además, cuenta con una arquitectura modular que facilita la expansión del sistema y su adaptación a diferentes necesidades del proceso, incluyendo opciones de comunicación de alta velocidad y redundancia de sistema.

Utilizando el software *TIA Portal V18* se realiza la configuración del hardware del PLC, es esencial definir previamente las variables de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas utilizadas por el programa, lo que permitirá seleccionar los módulos de hardware adecuados para el proceso de extrusión. También se describen las variables internas utilizadas en el programa.

2.1.5.1 Definición de variables externas

A continuación, se describen los módulos I/O con sus respectivas tablas de variables. En la figura 2-6 se ilustran las variables externas correspondiente a entradas digitales.

- Entadas Digitales: Módulo de 32 entradas digitales, en la tabla 2-9 se indican las características del módulo a utilizar.

Tabla 2-9. Datos técnicos módulo de entradas digitales.

Módulo	DI32 x 24 V BA
Referencia	6ES7 521-1BL00-0AB0
Versión Firmware	V2.2
Dirección Inicial	E0.0

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Entradas Digitales					
		Nombre	Tipo de datos	Dirección ▲	Comentario
1		ESTOP_GRAL_LINEA	Bool	%E0.0	Entrada Digital : Parada emergencia mod. seguridad
2		PARTIR	Bool	%E0.1	Entrada Digital : Pulsador partir
3		PARAR	Bool	%E0.2	Entrada Digital : Pulsador parar
4		RESET	Bool	%E0.3	Entrada Digital : Pulsador reset fallas
5		ESTOP_OPER	Bool	%E0.4	Entrada Digital : Pulsador parada de emergencia OP
6		CON_DRIVE_OK	Bool	%E0.5	Entrada Digital : Cotactor de línea extrusora
7		PRESOSTATO EXT	Bool	%E0.6	Entrada Digital : Presostato aceite extrusora
8		GM_VENT_EXT	Bool	%E0.7	Entrada Digital : Guardamotor ventilador mot. extrusora
9		AUT_CAL_Z1	Bool	%E1.0	Entrada Digital : Automático calefacción ext. zona 1
10		AUT_CAL_Z2	Bool	%E1.1	Entrada Digital : Automático calefacción ext. zona 2
11		AUT_CAL_Z3	Bool	%E1.2	Entrada Digital : Automático calefacción ext. zona 3
12		AUT_CAL_Z4	Bool	%E1.3	Entrada Digital : Automático calefacción ext. zona 4
13		AUT_CAL_FLA	Bool	%E1.4	Entrada Digital : Automático calefacción ext. flange
14		AUT_CAL_CUE	Bool	%E1.5	Entrada Digital : Automático calefacción ext. cuello
15		AUT_CAL_CAB	Bool	%E1.6	Entrada Digital : Automático calefacción ext. cabezal
16		AUT_CAL_HIL	Bool	%E1.7	Entrada Digital : Automático calefacción ext. hilera
17		GM1_VENT_Z1	Bool	%E2.0	Entrada Digital : Guardamotor enfriamiento ext. zona 1
18		GM2_VENT_Z2	Bool	%E2.1	Entrada Digital : Guardamotor enfriamiento ext. zona 2
19		GM3_VENT_Z3	Bool	%E2.2	Entrada Digital : Guardamotor enfriamiento ext. zona 3
20		GM4_VENT_Z4	Bool	%E2.3	Entrada Digital : Guardamotor enfriamiento ext. zona 4
21		KON_GRAL_EXT	Bool	%E2.4	Entrada Digital : Contactor gen. calefacción Extrusora
22		GM_CARGADOR	Bool	%E2.5	Entrada Digital : Guardamotor cargador de Plastico
23		EXT60_POS1	Bool	%E2.6	Entrada Digital : Extrusora 60DS Conectada en Posición 1
24		ESTOP_EXT.	Bool	%E2.7	Entrada Digital : Parada de emergencia línea de extrusion
25		EXT60_POS2	Bool	%E3.0	Entrada Digital : Extrusora 60DS Conectada en Posición 2
26		GM_BBA VACIO	Bool	%E3.1	Entrada Digital : Guardamotor bomba vacio
27		E3.2	Bool	%E3.2	Entrada Digital : Disponible
28		E3.3	Bool	%E3.3	Entrada Digital : Disponible
29		E3.4	Bool	%E3.4	Entrada Digital : Disponible
30		E3.5	Bool	%E3.5	Entrada Digital : Disponible
31		E3.6	Bool	%E3.6	Entrada Digital : Disponible
32		E3.7	Bool	%E3.7	Entrada Digital : Disponible

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-6. Variables para entradas digitales.

En la figura 2-7, se ilustran las variables externas correspondiente a salidas digitales.

- Salidas Digitales: Módulo de 32 salidas digitales, en la tabla 2-10 se indican las características del módulo a utilizar.

Tabla 2-10. Datos técnicos módulo de salidas digitales.

Módulo	DO32 x 24 V / 0,5 A
Referencia	6ES7 522-1BL01-0AB0

Versión Firmware	V1.1
Dirección Inicial	A0.0
Dirección Final	A3.7

Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18

Salidas Digitales				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección ▲	Comentario
1	VENT_M.EXT	Bool	%A0.0	Salida Digital: Contactor ventilador motor extrusora
2	CONT_GCAL.EXT	Bool	%A0.1	Salida Digital: Contactor General Calefacción
3	BOM_VAC.EXT	Bool	%A0.2	Salida Digital: Contactor bomba de vacío extrusora
4	CARG_EXT	Bool	%A0.3	Salida Digital: Contactor Cargador MP Extrusora
5	PLASTIC_PARTIR	Bool	%A0.4	Salida Digital: Habilita dosificador de color
6	LP_PULS.RESET	Bool	%A0.5	Salida Digital: Luz piloto pulsador Reset
7	CAMP_ALARMA	Bool	%A0.6	Salida Digital: Campanilla Alarma
8	EN_EMERGENCIA EXT	Bool	%A0.7	Salida Digital: Paradas de Emergencia
9	EXT_CALZ1	Bool	%A1.0	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Zona 1
10	EXT_CALZ2	Bool	%A1.1	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Zona 2
11	EXT_CALZ3	Bool	%A1.2	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Zona 3
12	EXT_CALZ4	Bool	%A1.3	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Zona 4
13	EXT_CALFLA	Bool	%A1.4	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Flange
14	EXT_CALCUE	Bool	%A1.5	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Cuello
15	EXT_CALCAB	Bool	%A1.6	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Cabezal
16	EXT_CALHIL	Bool	%A1.7	Salida Digital: SSR Calefacción Ext. Hilera
17	EXT_ENFZ1	Bool	%A2.0	Salida Digital: Contactor Enfriamiento Ext. Zona 1
18	EXT_ENFZ2	Bool	%A2.1	Salida Digital: Contactor Enfriamiento Ext. Zona 2
19	EXT_ENFZ3	Bool	%A2.2	Salida Digital: Contactor Enfriamiento Ext. Zona 3
20	EXT_ENFZ4	Bool	%A2.3	Salida Digital: Contactor Enfriamiento Ext. Zona 4
21	BALIZA_AZ	Bool	%A2.4	Salida Digital: Baliza Señalización Azul
22	BALIZA_VE	Bool	%A2.5	Salida Digital: Baliza Señalización Verde
23	BALIZA_AM	Bool	%A2.6	Salida Digital: Baliza Señalización Amarillo
24	BALIZA_RO	Bool	%A2.7	Salida Digital: Baliza Señalización Rojo
25	A3.0	Bool	%A3.0	Salida Digital: Disponible
26	A3.1	Bool	%A3.1	Salida Digital: Disponible
27	A3.2	Bool	%A3.2	Disponible
28	A3.3	Bool	%A3.3	Disponible
29	A3.4	Bool	%A3.4	Disponible
30	A3.5	Bool	%A3.5	Disponible
31	A3.6	Bool	%A3.6	Disponible
32	A3.7	Bool	%A3.7	Disponible

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18

Figura 2-7. Variables para salidas digitales

En la figura 2-8, se ilustran las variables externas correspondiente a entradas analógicas.

- Entradas Analógicas: un módulo de 8 entradas analógicas para termocuplas, en la tabla 2-11 se indican las características del módulo a utilizar.

Tabla 2-11. Datos técnicos módulo entradas analógicas.

Módulo	AI8 x U/R/RTD/TC HF 16 bits
Referencia	6ES7 531-7PF00-0AB0
Versión Firmware	V1.1
Dirección Inicial	EW150
Dirección Final	EW166

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Entradas Analógicas Termocuplas				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
1	 EXT.TEMP_MAT	Int	%EW158	Entrada Analógica Temperatura Material: Termocupla tipo J
2	 EXT.TEMP_Z1	Int	%EW150	Entrada Analógica Temperatura Zona 1: Termocupla tipo J
3	 EXT.TEMP_Z2	Int	%EW152	Entrada Analógica Temperatura Zona 2: Termocupla tipo J
4	 EXT.TEMP_Z3	Int	%EW154	Entrada Analógica Temperatura Zona 3: Termocupla tipo J
5	 EXT.TEMP_Z4	Int	%EW156	Entrada Analógica Temperatura Zona 4: Termocupla tipo J
6	 EXT.TEMP_FLA	Int	%EW160	Entrada Analógica Temperatura Flange: Termocupla tipo J
7	 EXT.TEMP_CUE	Int	%EW162	Entrada Analógica Temperatura Cuello: Termocupla tipo J
8	 EXT.TEMP_CAB	Int	%EW164	Entrada Analógica Temperatura Cabezal: Termocupla tipo J
9	 EXT.TEMP_HIL	Int	%EW166	Entrada Analógica Temperatura Hilera: Termocupla tipo J

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-8. Variables para entradas análogas.

En la figura 2-9, se ilustran las variables externas correspondiente a entradas y salidas analógicas para una señal de corriente normalizada.

- Entradas/ Salidas Analógicas: un módulo 4 entradas y 2 salidas analógicas, en la tabla 2-12 se indican las características del módulo a utilizar.

Tabla 2-12. Datos técnicos módulo de entradas y salidas análogas.

Módulo	AI4 x U/R/RTD/TC HF 16 bits / AQ2 X U/I 16 bits
Referencia	6ES7 534-7QE00-0AB0
Versión Firmware	V1.0
Entradas	Dirección inicial: EW100 Dirección final : EW106

Salidas

Dirección inicial: AW8

Dirección final : AW10

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Entradas/Salidas Analógicas				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección ▲	Comentario
1	EXT.PRES_MELT	Int	%EW100	Entrada Analógica Transmisor de presión : Lazo 4-20 mA
2	EW102 DISPONIBLE	Int	%EW102	Entrada Analógica Disponible para termocupla tipo J
3	EW104 DISPONIBLE	Int	%EW104	Entrada Analógica disponible: Lazo 0-10 V
4	EW106 DISPONIBLE	Int	%EW106	Entrada Analógica disponible: Lazo 0-10 V
5	AW8 DISPONIBLE	Int	%AW8	Salida analógica disponible
6	AW10 DISPONIBLE	Int	%AW10	Salida analógica disponible

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-9. Variables para módulo de entradas y salidas analógicas.

2.1.5.2 Definición de variables internas

En la figura 2-10 se indican las variables internas asociadas a temporizadores y marcas utilizadas en la programación.

Variables internas				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección ▲	Comentario
1	Hmi_Partir_Ext	Bool	%M20.0	HMI - Marcha extrusora
2	Hmi_Parar_Ext	Bool	%M20.1	HMI - Parar extrusora
3	Autoriza_Partir	Bool	%M20.2	Autorización partida extrusora
4	Serie_ESTOP	Bool	%M20.3	Serie Paradas de Emergencia
5	Bloqueo_Partir_Ext	Bool	%M20.4	Bloqueo partida extrusora
6	Parada_Normal_Ext	Bool	%M20.5	Parada normal extrusora
7	Falla_Motor/Extrusora	Bool	%M20.6	Falla extrusora
8	HMI_Rst_ConTemp	Bool	%M20.7	HMI - Reset Temperaturas extrusora
9	FallaTemp_MotorExt	Bool	%M21.0	Temperatura motor extrusora
10	Falla_PresionExt_Maxima	Bool	%M21.1	Presión máxima extrusora
11	HMI_ON_BBAvacio	Bool	%M21.2	HMI - Marcha/Paro bomba vacío
12	Hmi_ON_Cargador	Bool	%M21.3	HMI - Habilita cargador MP
13	Falla_Activa_Extrusora	Bool	%M21.4	Falla activa extrusora
14	Falla_Presion_Aceite	Bool	%M21.5	Falla aviso presión de aceite
15	T21	Timer	%T21	Retardo deshabilitación ventilador motor extrusora
16	T22	Timer	%T22	Retardo desconexión Acuse reset Tª extrusora
17	T23	Timer	%T23	Retardo aviso presostato en alto
18	T24	Timer	%T24	Retardo aviso presostato en bajo
19	T28	Timer	%T25	Retardo aviso sobrecorriente motor extrusora

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-10. Variables internas.

2.1.5.3 Unidad central de procesamiento (CPU)

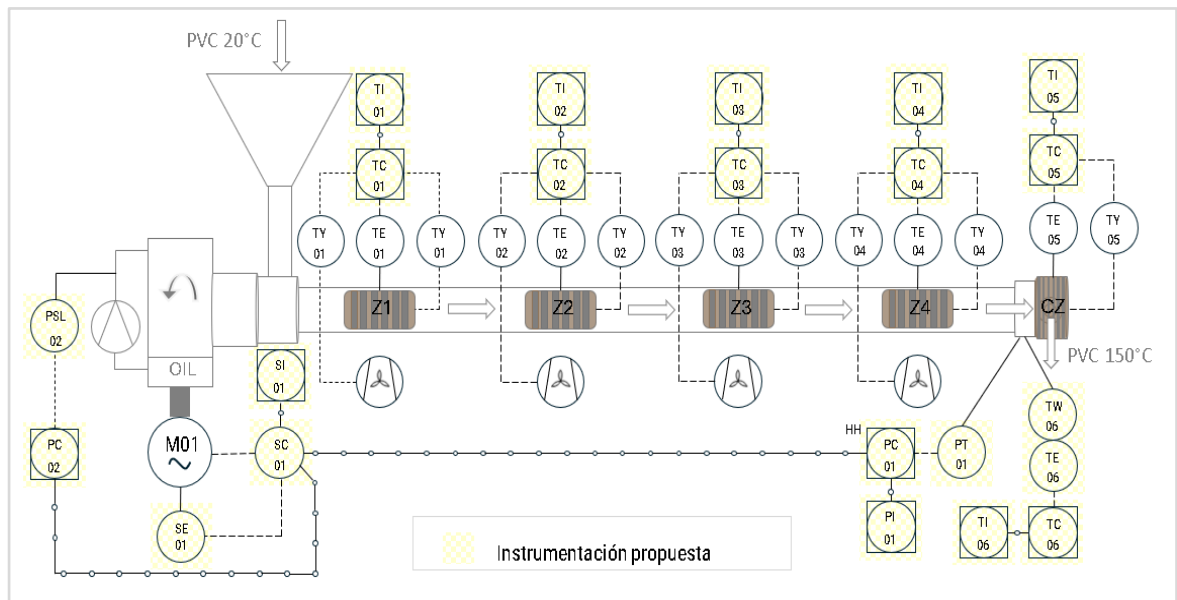
La CPU 1515-2 PN se ajusta perfectamente a la red de dispositivos requerida para la máquina extrusora, gracias a sus dos interfaces de comunicación PROFINET. La primera interfaz, equipada con un conmutador integrado de dos puertos RJ45, se utiliza para establecer la red entre el PLC, HMI y VDF. Por otro lado, la segunda interfaz permite el intercambio de datos entre el PLC de la línea principal y el PLC dedicado a la extrusora, asegurando una comunicación rápida entre los distintos sistemas.

Tabla 2-13. Datos técnicos CPU.

Nombre	CPU 1515-2 PN
Referencia	6ES7 515-2AN03-0AB0
Versión Firmware	V3.0
Alimentación	24 V
Corriente Máx.	1,15 A
Pantalla	Integrada
Memoria	Trabajo: 1 MB Datos : 4,5 MB
Conectividad	1ª interfaz ethernet x 2 puertos switch integrado 2ª interfaz ethernet x 1

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

En la figura 2-11, muestra la instrumentación de la extrusora con la nueva configuración, proporcionando una visión clara de los componentes y sistemas actualizados para su operación.



Fuente: Elaboración propia, basada en instrumentación requerida.

Figura 2-11. P&ID del proceso de extrusión actualizado.

2.2 PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN

En *TIA Portal V18*, se desarrollará un proyecto de programación específico para la extrusora, independiente del proyecto existente de la línea de extrusión. Este nuevo proyecto, denominado “*Act. Extrusora 60 DS*”, abarca la configuración y programación del PLC y la pantalla HMI de la extrusora.

Para establecer la comunicación entre el PLC de la extrusora y el PLC de la línea de extrusión, se modificará el programa fuente de la línea de extrusión, utilizando las instrucciones PUT y GET, además de crear el bloque de datos (DB) para almacenar la información. Esto permitirá la escritura y lectura de datos entre ambos sistemas de control, garantizando su correcta integración.

2.2.1 Configuración del hardware del PLC:

Los módulos por utilizar son previamente seleccionados en función de las variables externas que se utilizan en este proyecto. De este modo, la configuración del hardware queda representada en la figura 2-12.



Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-12. Configuración de hardware PLC extrusora.

2.2.1.1 Configuración de red de los dispositivos:

En esta configuración, se incorporan tanto la pantalla HMI como el VDF, asignando las respectivas direcciones IP para la red de dispositivos de la máquina extrusora y para comunicación con el PLC de la línea de extrusión.

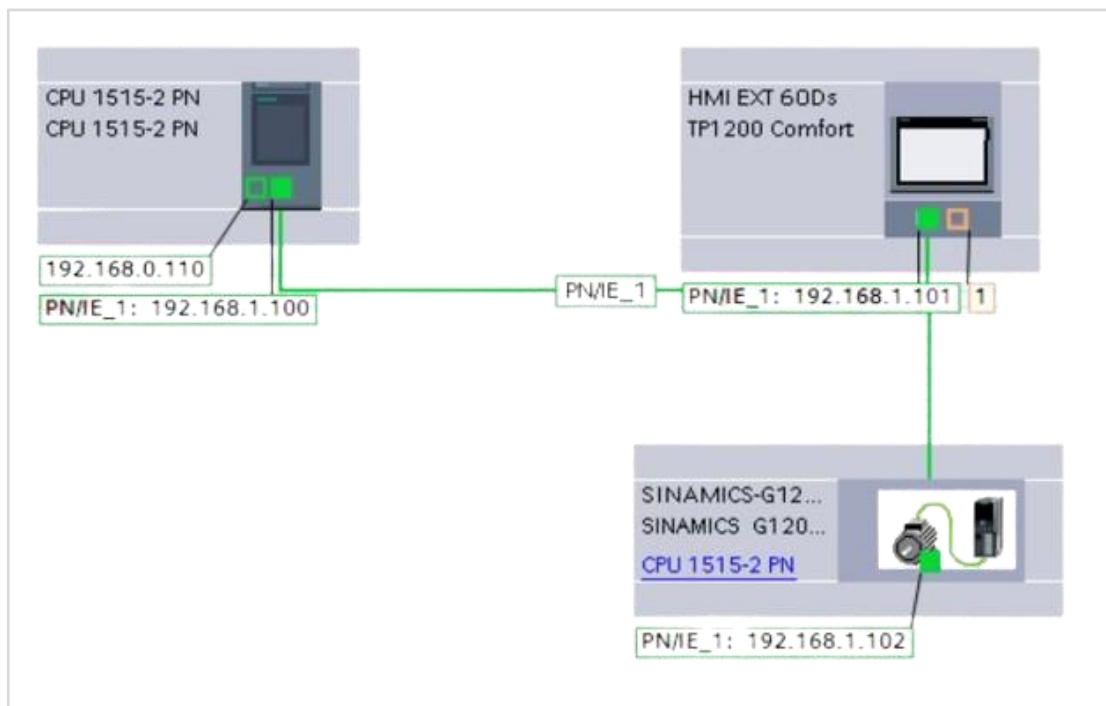
En la tabla 2-14 se muestra la asignación de la dirección IP que se utiliza para la comunicación entre los dispositivos.

Tabla 2-14. Red y direcciones IP de los dispositivos.

Red	Dispositivo	Dirección IP
Línea de Extrusión	PLC (Extrusora) 2ª Interfaz	192.168.0.110
Extrusora	PLC (Extrusora) 1ª Interfaz	192.168.1.100
	HMI	192.168.1.101
	VDF	192.168.1.102

Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

En la figura 2-13 se observa la configuración de redes y dispositivos correspondiente al proyecto de actualización de la extrusora.



Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-13. Configuración de redes y dispositivos de la extrusora.

2.2.1.2 Programación del PLC:

El programa desarrollado para el sistema de control de la extrusora se organiza mediante bloques de organización (OB). En este caso, se utilizan dos bloques principales; un OB de ciclo que se ejecuta de manera cíclica (OB1), y un OB de alarma cíclica (OB30), diseñado para iniciar tareas en intervalos periódicos, independientemente de la ejecución cíclica del programa principal. Este último se utiliza específicamente para procesar la instrucción PID compact utilizada en la calefacción de todas las zonas de la extrusora, contenidas en la función FC30. Además, se distinguen las funciones:

- FC2-FC3-FC6: Usados para los escalamientos de las señales análogas y convertir entre tipos de datos usados en la programación.
- FC7: Contiene el escalamiento de los sensores de temperatura, modos de funcionamiento de la extrusora y determinar temperaturas fuera de rango.
- FC21: Controla el funcionamiento del motor de la extrusora, habilita equipos auxiliares y supervisa la detección de fallas.
- FC23: Se encarga del control de calefacción y enfriamiento de las zonas y cabezal de la extrusora.
- FC20: Es la función principal que ejecuta otras subrutinas como se muestra en la figura 2-15 y además contiene la programación para la comunicación con el VDF.

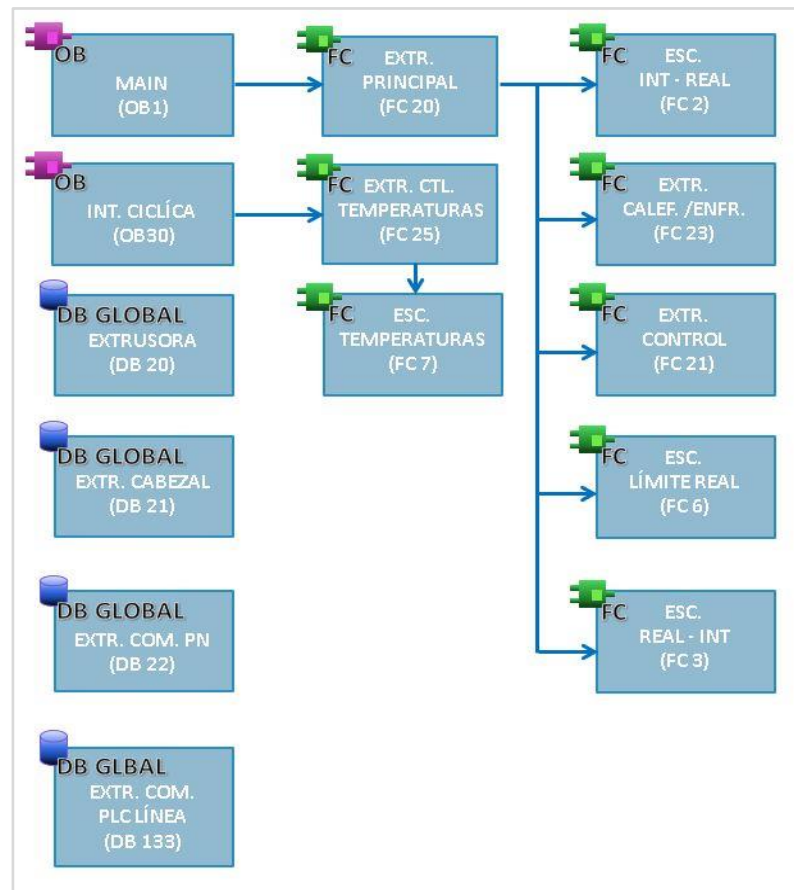
Los bloques de datos globales (DB) se utilizan para almacenar la información del programa y facilitar la transferencia de datos entre el PLC de la extrusora y el PLC de la línea de extrusión mediante las instrucciones PUT y GET, como se muestra en la figura 2-14.

DB133 COM. PLC LINEA			
	Nombre	Tipo de datos	Offset
1	Static		
2	PlcLinea>Ext60Ds	Struct	0.0
3	Vel_Linea	Real	0.0
4	Diametro_D1	Real	4.0
5	Diametro_D2	Real	8.0
6	SincronismoOn_Off	Bool	12.0
7	Auto_Zumbach	Bool	12.1
8	Zumb_Incrementa	Bool	12.2
9	Zumb_Decrementa	Bool	12.3
10	Reserva	Bool	12.4
11	Reserva_1	Bool	12.5
12	Reserva_2	Bool	12.6
13	Reserva_3	Bool	12.7
14	PlcLinea<Ext60Ds	Struct	14.0
15	VelocidaAct_Ext	Real	14.0
16	SP_Vel_Ext	Real	18.0
17	Reserva	Real	22.0
18	EnEmergencia_Ext	Bool	26.0
19	Reserva_1	Bool	26.1
20	Reserva_2	Bool	26.2
21	Reserva_3	Bool	26.3
22	Reserva_4	Bool	26.4
23	Reserva_5	Bool	26.5
24	Reserva_6	Bool	26.6
25	Reserva_2_1	Bool	26.7

Fuente: Elaboración propia, basada en basada en TIA Portal V18.

Figura 2-14. Bloque de datos para comunicación con PLC de la línea de extrusión.

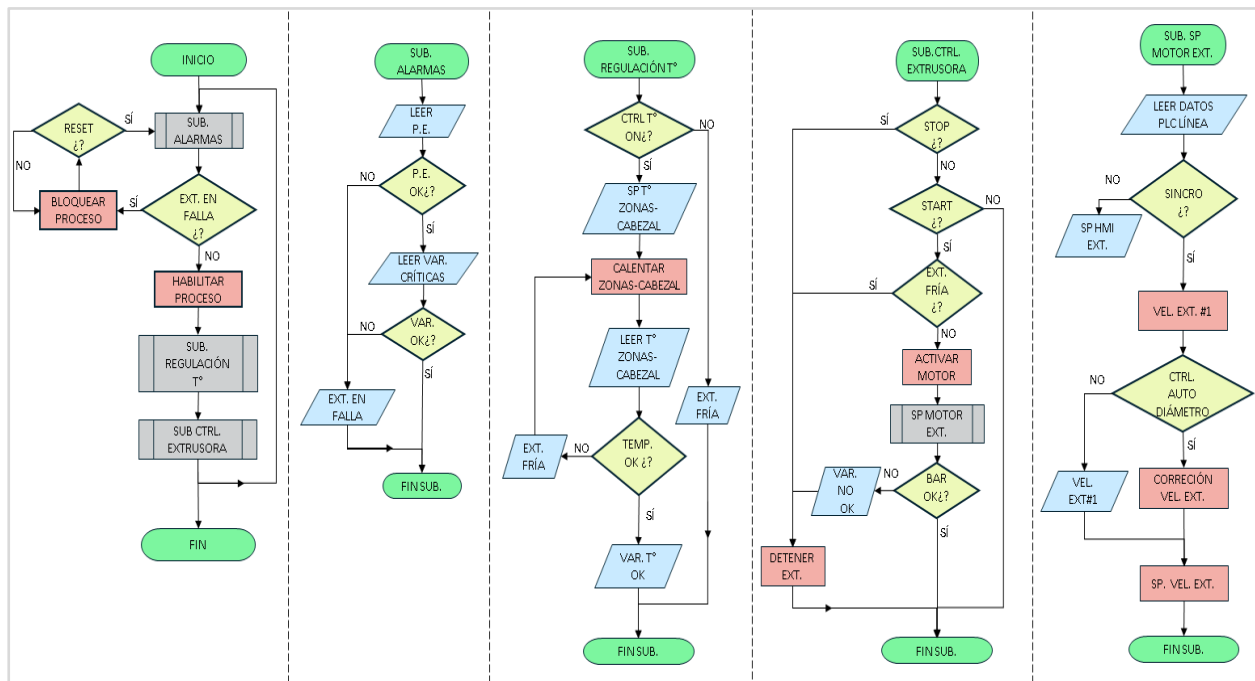
En la figura 2-15 se presenta la estructura de llamadas a las subrutinas, que ayuda a organizar el programa de manera clara permitiendo dividir el código en partes más pequeñas, reutilizarlo cuando se necesite y facilitar la corrección de errores.



Fuente: Elaboración propia basada en TIA Portal V18.

Figura 2-15. Estructura de programa.

El diagrama de flujo, presentado en la Figura 2-16, ofrece una representación visual clara del proceso, lo que facilita tanto su comprensión como el análisis de su funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia, basada en la programación del PLC.

Figura 2-16. Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento de la extrusora.

2.2.1.3 Configuración de HMI:

Mediante *TIA Portal V18* donde está incluido la herramienta para el diseño y configuración de pantallas, *WinCC flexible* y en conjunto con el software de edición de imágenes *Photoshop*, se confeccionaron los diversos objetos para las imágenes de la pantalla HMI, con el objetivo de ser informativa, intuitiva y de fácil operación.

1. Pantalla menú principal: Vista general.

El diseño está orientado a proporcionar un acceso rápido a las distintas funciones y parámetros del proceso tal como se muestra en la figura 2-17.



Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-17. Imagen menú principal HMI.

2. Pantalla de control: Extrusora y monitoreo de diámetro.

Facilita el control del proceso, incluyendo la configuración de los parámetros de temperatura, el ajuste de la velocidad de la extrusora y la visualización en tiempo real de variables críticas del motor, como se muestra en la figura 2-18. Además, permite gestionar los dispositivos auxiliares. La figura 2-19, ilustra la pantalla destinada al monitoreo del diámetro del cable, y a la verificación del estado del controlador, asegurando el cumplimiento de los valores de diámetro requeridos.



Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-18. Imagen control extrusora.

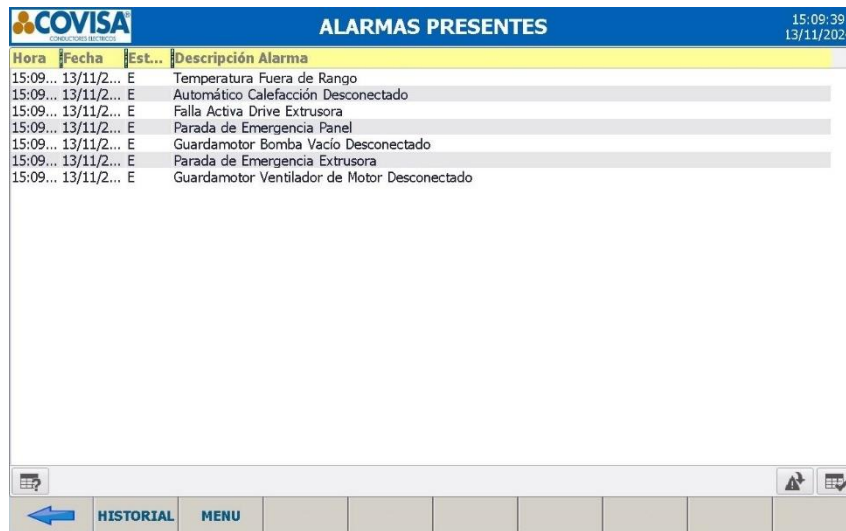


Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-19. Imagen control de diámetro.

3. Pantalla de alarmas: Actuales e historial.

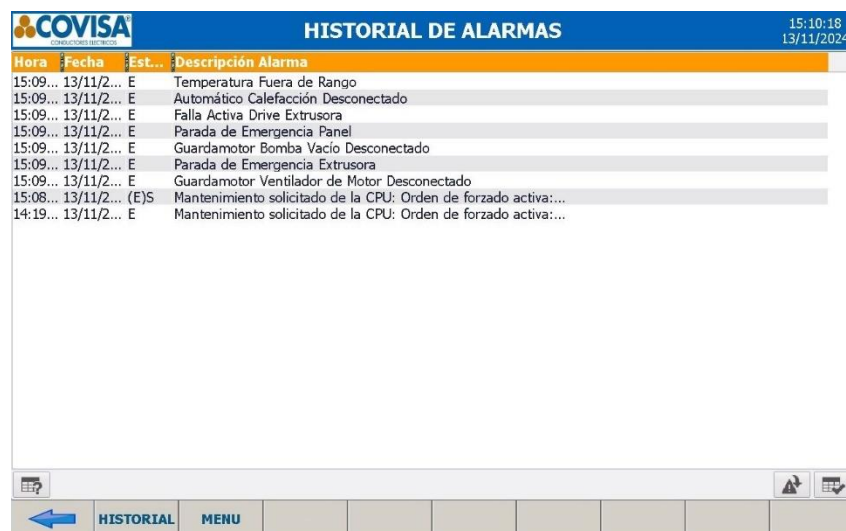
Se implementaron dos pantallas; una para alarmas actuales como se muestra en la figura 2-20 y otra para el historial de alarmas, donde últimas son almacenadas en la memoria externa SD, como se ilustra en la figura 2-21.



Hora	Fecha	Est...	Descripción Alarma
15:09...	13/11/2...	E	Temperatura Fuera de Rango
15:09...	13/11/2...	E	Automático Calefacción Desconectado
15:09...	13/11/2...	E	Falla Activa Drive Extrusora
15:09...	13/11/2...	E	Parada de Emergencia Panel
15:09...	13/11/2...	E	Guardamotor Bomba Vacío Desconectado
15:09...	13/11/2...	E	Parada de Emergencia Extrusora
15:09...	13/11/2...	E	Guardamotor Ventilador de Motor Desconectado

Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-20. Imagen alarmas presentes.



Hora	Fecha	Est...	Descripción Alarma
15:09...	13/11/2...	E	Temperatura Fuera de Rango
15:09...	13/11/2...	E	Automático Calefacción Desconectado
15:09...	13/11/2...	E	Falla Activa Drive Extrusora
15:09...	13/11/2...	E	Parada de Emergencia Panel
15:09...	13/11/2...	E	Guardamotor Bomba Vacío Desconectado
15:09...	13/11/2...	E	Parada de Emergencia Extrusora
15:09...	13/11/2...	E	Guardamotor Ventilador de Motor Desconectado
15:08...	13/11/2...	(E)S	Mantenimiento solicitado de la CPU: Orden de forzado activa:...
14:19...	13/11/2...	E	Mantenimiento solicitado de la CPU: Orden de forzado activa:...

Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-21. Imagen historial de alarmas.

4. Pantalla de gráficos: Temperatura, velocidad y presión.

Mediante un menú interactivo, como se muestra en la figura 2-22, se pueden seleccionar los gráficos que permiten visualizar la evolución de variables como la temperatura del cilindro y del cabezal, como se representa en la figura 2-23.



Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-22. Imagen menú gráficos de variables.



Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-23. Imagen gráfico cabezal.

5. Pantalla control de temperatura: Cilindro y cabezal.

Se pueden ajustar las temperaturas del cilindro, como se muestra en la figura 2-24, e igual manera para el cabezal, como se muestra en la figura 2-25. Además de visualizar zonas fuera del rango de tolerancia, junto con el estado de las salidas de calefacción y enfriamiento.



Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-24. Imagen temperatura cilindro extrusora.



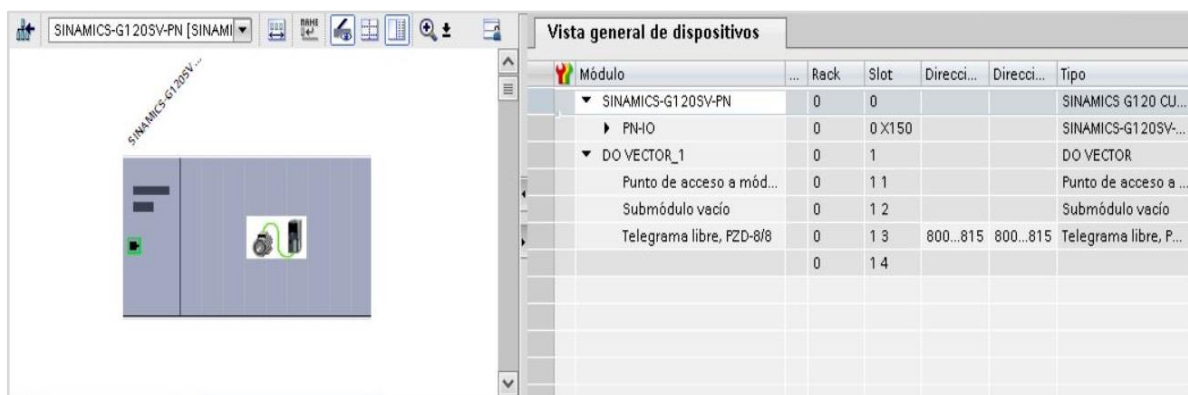
Figura: Elaboración propia basado en TIA Portal V18

Figura 2-25. Imagen temperatura cabezal extrusora.

2.2.1.4 Parametrización del VDF

La configuración, diagnóstico y puesta en marcha del VDF, en este caso el controlador SINAMICS descrito anteriormente, se realiza con el software *Starter*, mientras que su integración al sistema de control se lleva a cabo mediante *TIA Portal*.

El protocolo de comunicación entre el PLC y el VDF se establece mediante PROFINET, utilizando la dirección IP 192.168.1.102 asignada al controlador SINAMICS. La transferencia de datos entre ambos dispositivos se realiza mediante la estructura de los datos de proceso (PZD), tanto para el envío como para la recepción de información utilizando telegrama libre PZD 8/8, como se muestra en la figura 2-26.

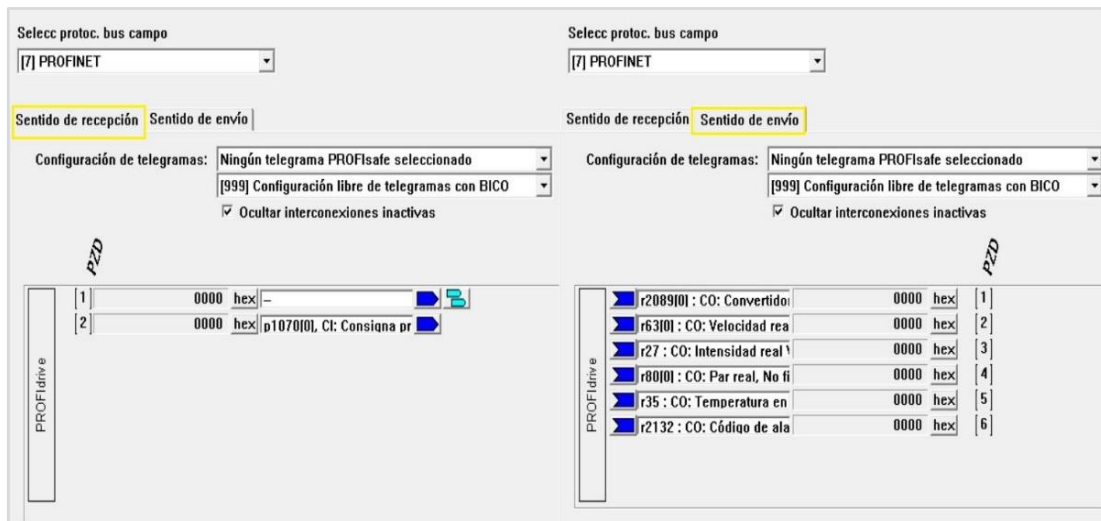


Módulo	Rack	Slot	Direcci...	Direcci...	Tipo
▼ SINAMICS-G120SV-PN	0	0			SINAMICS G120 CU...
▶ PN-IO	0	0 X150			SINAMICS-G120SV-...
▼ DO VECTOR_1	0	1			DO VECTOR
Punto de acceso a mód...	0	1 1			Punto de acceso a ...
Submódulo vacío	0	1 2			Submódulo vacío
Telegrama libre, PZD-8/8	0	1 3	800...815	800...815	Telegrama libre, P...
	0	1 4			

Fuente: Elaboración propia basado en TIA Portal V18.

Figura 2-26. Telegrama libre,PZD 8/8

Los datos de proceso (PZD) contienen información básica para el control y supervisión de un accionamiento donde se diferencia la palabra de control, la palabra estado, consigna de velocidad y velocidad actual del motor, además de esto se agregaron otras variables que son críticas para la supervisión de la extrusora como es la corriente, el torque y la temperatura del motor y el código de alarmas en caso de avería. Esta configuración se realiza utilizando el software *Starter*, tanto para datos de envío como de recepción, como se muestra en la figura 2-27.



Fuente: Elaboración propia basado en Starter

Figura 2-27. Configuración datos de proceso controlador SINAMICS.

Previamente a la puesta en marcha, es necesario hacer algunas adaptaciones mecánicas en el montaje del motor, como verificar los soportes y acoples, para asegurar que el nuevo motor se integre correctamente en la extrusora.

Durante la puesta en marcha se debe realizar el proceso de identificación del motor y la optimización del lazo de velocidad que corresponden a:

- Medición estacionaria (resistencia e inductancias del motor).
- Optimización del regulador de velocidad de rotación con encoder.

2.3 FASES DE LA PUESTA EN MARCHA

A continuación, se indican las fases de la puesta en marcha para la ejecución del proyecto:

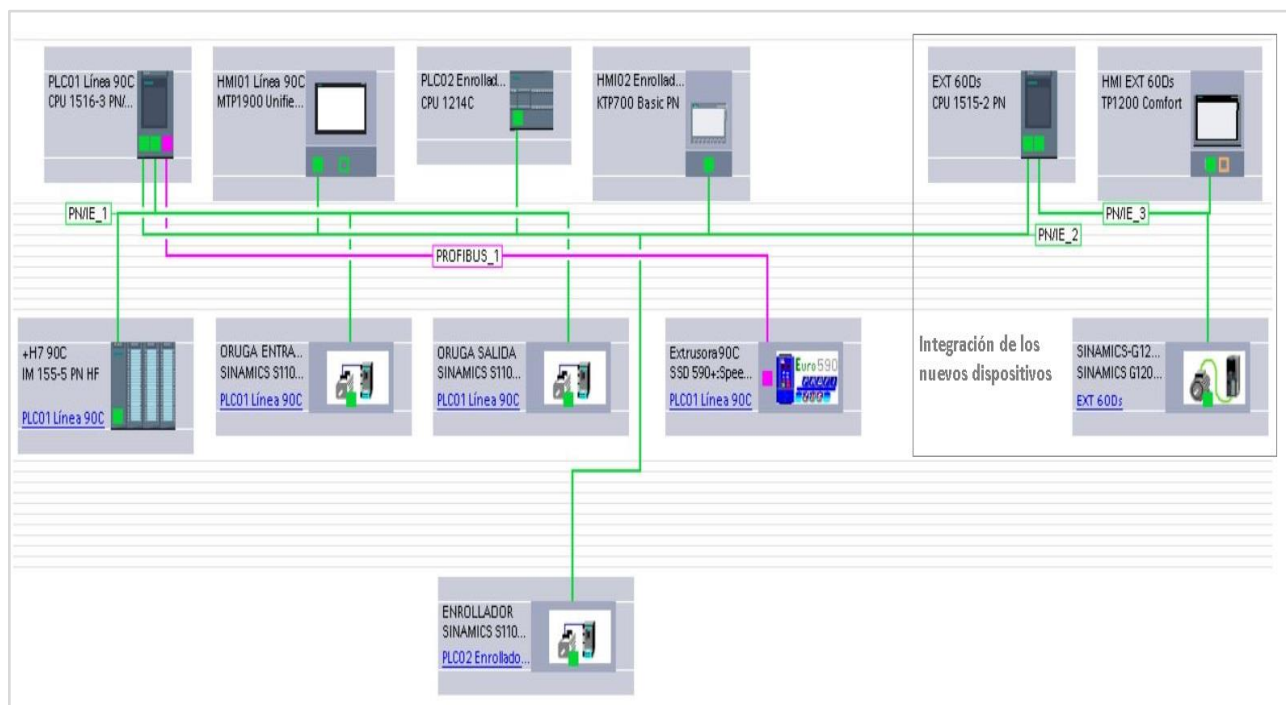
2.3.1 Montaje y conexión

- Montaje de equipos Siemens: Se instalan físicamente los dispositivos Siemens, incluidos el VDF, PLC, HMI, y los sensores de temperatura y presión. Además, se

verifican todas las conexiones eléctricas para asegurar su correcto funcionamiento.

- Configuración de comunicación: Se realiza el conexionado adecuado de las redes, tanto para la línea de extrusión como para la extrusora, asegurando que todos los dispositivos estén correctamente conectados y comunicados.

En la figura 2-28 se muestra la configuración de red para los nuevos dispositivos, así como su integración con los equipos ya existentes en la línea de extrusión.



Fuente: Elaboración propia diseñado en Tia Portal V18

Figura 2-28. Arquitectura de red de la línea de extrusión.

2.3.2 Pruebas y validación

Durante las pruebas y validación, se llevará a cabo una revisión detallada de todos los sistemas de control bajo condiciones normales de operación. Esto incluirá la verificación de:

- Los parámetros P, I y D obtenidos mediante la instrucción PID_Compact, tras una sintonización inicial, deben garantizar un comportamiento estable, preciso y rápido en la regulación de temperatura de las zonas del cilindro y del cabezal, permitiendo alcanzar de manera eficiente los valores de temperatura deseados.
- El valor real de presión y temperatura del material, se mantengan dentro de los márgenes establecidos en las especificaciones.
- Comprobar el funcionamiento del motor, sentido de giro y el escalamiento de las variables como velocidad, corriente, torque y temperatura del motor. Para el caso de la velocidad del motor verificar con un tacómetro para comprobar el cálculo de relación de la caja de engranajes con las revoluciones por minuto del tornillo de la extrusora.
- Revisar el funcionamiento de los sistemas de seguridad, como alarmas, protecciones, paradas de emergencia y dispositivos auxiliares, para garantizar su correcta operatividad y minimizar el riesgo de accidentes.
- El intercambio de datos entre ambos sistemas de control.

2.3.3 Optimización y ajustes finos

El controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es uno de los algoritmos más utilizados para la regulación de procesos en sistemas industriales. Cada uno de estos parámetros tiene una función específica en la respuesta del sistema, los cuales deben ser ajustados correctamente para lograr una regulación eficiente para todas las zonas de calefacción de la extrusora. Este ajuste debe ser respaldado mediante el uso de la pantalla HMI, que permite monitorear y registrar el comportamiento de la temperatura a lo largo del tiempo.

A continuación, se entregan recomendaciones sobre cómo ajustar los parámetros PID para el controlador según el comportamiento observado del sistema:

- Acción Proporcional (P): La ganancia ajusta la cantidad de corrección proporcional que se aplica en función del error actual. Si el error es grande, el controlador responde con una corrección proporcional más grande.

Condición: Si el control de temperatura de la extrusora muestra una respuesta muy lenta, aumentar progresivamente el valor proporcional (P) ayudará a reducir el tiempo de asentamiento, haciendo que el sistema alcance más rápidamente la temperatura deseada. Sin embargo, un valor demasiado alto puede hacer que el sistema se vuelva inestable, causando oscilaciones en la temperatura debido a una corrección excesiva. Es importante encontrar el equilibrio adecuado para mejorar la rapidez de respuesta sin comprometer la estabilidad del proceso.

- Acción Integrativa (Ti): El parámetro Ti controla la acumulación del error a lo largo del tiempo. No asegura que el error sea cero inmediatamente, sino que lo reduce progresivamente hasta alcanzar el valor deseado, eliminando el error constante a lo largo del tiempo.

Condición: Si el sistema de control de temperatura de la extrusora presenta un error constante respecto al valor deseado, aumentar el valor integral (Ti) ayudará a corregir los errores acumulados a lo largo del tiempo. Sin embargo, un valor demasiado bajo de Ti puede hacer que el controlador responda rápidamente, pero con un riesgo de sobreimpulso u oscilaciones, lo que podría afectar la estabilidad del proceso. Por otro lado, un valor demasiado alto de Ti hará que la corrección sea más lenta y gradual, lo que puede hacer que el sistema tarde más en corregir los errores, pero evitando el sobreimpulso y mejorando la estabilidad, aunque podría afectar la velocidad de respuesta a desviaciones pequeñas.

- Acción Derivativa (Td): El parámetro Td predice el comportamiento futuro del error al observar su tasa de cambio. Reacciona ante cambios rápidos en el error para amortiguar posibles oscilaciones y mejorar la estabilidad del sistema.

Condición: Si el sistema de control de temperatura de la extrusora experimenta cambios bruscos, aumentar progresivamente el valor derivativo (Td) ayudará a reducir estas variaciones, mejorando la estabilidad y evitando que la temperatura

se desvíe bruscamente. Sin embargo, un valor demasiado bajo de T_d puede hacer que el sistema sea lento para reaccionar ante cambios rápidos en la temperatura, lo que puede causar oscilaciones en el proceso. Por otro lado, un valor demasiado alto de T_d puede amplificar el ruido presente en las mediciones de temperatura, generando ajustes innecesarios y potencialmente afectando la estabilidad del control de temperatura.

2.3.4 Capacitación al personal operativo

Capacitar al personal operativo no es solo un paso inicial; es una inversión clave para mantener el proceso estable, eficiente y seguro a lo largo del tiempo. Un equipo bien preparado asegura que el sistema de control de la extrusora funcione correctamente desde el principio y con el mejor rendimiento.

Es esencial que los operadores comprendan plenamente el uso y la interacción con la pantalla HMI, ya que, esta constituye el punto principal de comunicación con el sistema. La capacitación debe abarcar la familiarización con el entorno de control, el manejo de situaciones críticas y el uso adecuado de herramientas de diagnóstico y entender los datos que se grafican en tiempo real. Esto les permitirá anticiparse a posibles fallos y solucionarlos antes de que se conviertan en problemas más graves.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA

EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica es una etapa fundamental para cualquier proyecto, ya que permite determinar la viabilidad financiera de la inversión y respaldar la decisión de ejecutar el proyecto. Este capítulo está orientado a analizar los aspectos económicos del proyecto de actualización del sistema de control de la máquina extrusora, considerando tanto los costos de inversión inicial como los beneficios económicos que se generarán a lo largo de su vida útil.

El análisis se completa con la elaboración del flujo de caja proyectado, el cual resume el costo inicial y los ingresos previstos a lo largo del período de evaluación del proyecto. Este flujo de caja es una herramienta clave para calcular indicadores financieros como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión, proporcionando una visión integral sobre la rentabilidad del proyecto.

Finalmente, se desarrolla un análisis de sensibilidad que permite evaluar la robustez del proyecto frente a cambios en las variables críticas, como variaciones de los ingresos o beneficios esperados. Este análisis proporciona información valiosa para mitigar riesgos y garantizar que las decisiones se fundamenten en escenarios realistas y conservadores.

3.1 ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección se detallan los costos asociados a la implementación del proyecto. Para facilitar su comprensión y análisis, se han clasificado en dos categorías principales:

- Costos directos:
 - Tablero de control y equipos
 - Licencias de softwares
 - Ejecución
- Costos indirectos:
 - Logística y transporte

- Adaptaciones mecánicas
- Imprevistos

3.1.1 Costos directos

Los costos directos corresponden a aquellos gastos que están directamente vinculados a la ejecución del proyecto, siendo indispensables para la adquisición de recursos y la implementación del sistema. A continuación, se detallan las principales subcategorías de costos directos asociados al proyecto.

3.1.1.1 Tablero de control y equipos:

Corresponde a los costos asociados a la instrumentación involucrada en este proyecto, tales como los sensores de presión y temperatura, el PLC, el VDF y la pantalla HMI. Además, se consideran aquellos recursos necesarios para realizar modificaciones en el tablero de control existente, como se detalla en la tabla 3-1.

Tabla 3-1. Costos asociados al tablero de control y equipos.

Ítems		Costo (UF)
1	PLC y accesorios	249,4
1.1	S7-1500 perfil 245 mm	1,6
1.2	CPU 1515-2 PN	112,6
1.3	Tarjeta de memoria 256 MB	17,0
1.4	Módulo AI 8 x U/R/RTD/TC HF	44,5
1.5	Módulo AI 4x U/R/RTD/TC AQ 2x U/I ST	28,2
1.6	Módulo DI 32x24 VDC BA	15,3
1.7	Módulo DQ 32x24 VDC/0,5 A HF	21,6
1.8	Accesorios para conexión de módulos	8,6

2	Pantalla HMI	138,0
2.1	SIMATIC HMI TP1200 Comfort	121,3
2.2	Tarjeta memoria SIMATIC SD 2 GB	16,7
3	Variador de frecuencia	494,5
3.1	Interruptor de sobrecarga	13,0
3.2	Unidad de control CU250-2DP	16,7
3.3	Panel operador (OP)	1,7
3.4	Cable DRIVE CLiQ	5,5
3.5	Unidad de potencia PM240-2	161,2
3.6	Resistencia de frenado de 37 kW	22,5
3.7	Cable de alimentación del motor	25,3
3.8	Motor CA asíncrono 1PH8	248,6
4	Sensores de presión y temperatura	48,7
4.1	Termocupla tipo J M12	1,0
4.2	Termopozo M12	0,6
4.3	Presostato Norgren 0880380	7,1
4.4	Transmisor de presión GEFRA ME1	40,0
5	Cableado y tablero de control	55,0
5.1	Canaletas, bornes, botoneras y relés	40,0
5.2	Cableado de control y fuerza	15,0
Total		985,6

Fuente: Elaboración propia, basada en TIA Selection Tool y cotizaciones.

3.1.1.2 Licencias de softwares

Los softwares utilizados en el proyecto, tales como TIA Portal V18, Sizer, Starter y Adobe Photoshop, fueron adquiridos en proyectos anteriores, por lo cual no generan costos asociados al proyecto siendo un activo intangible ya amortizado.

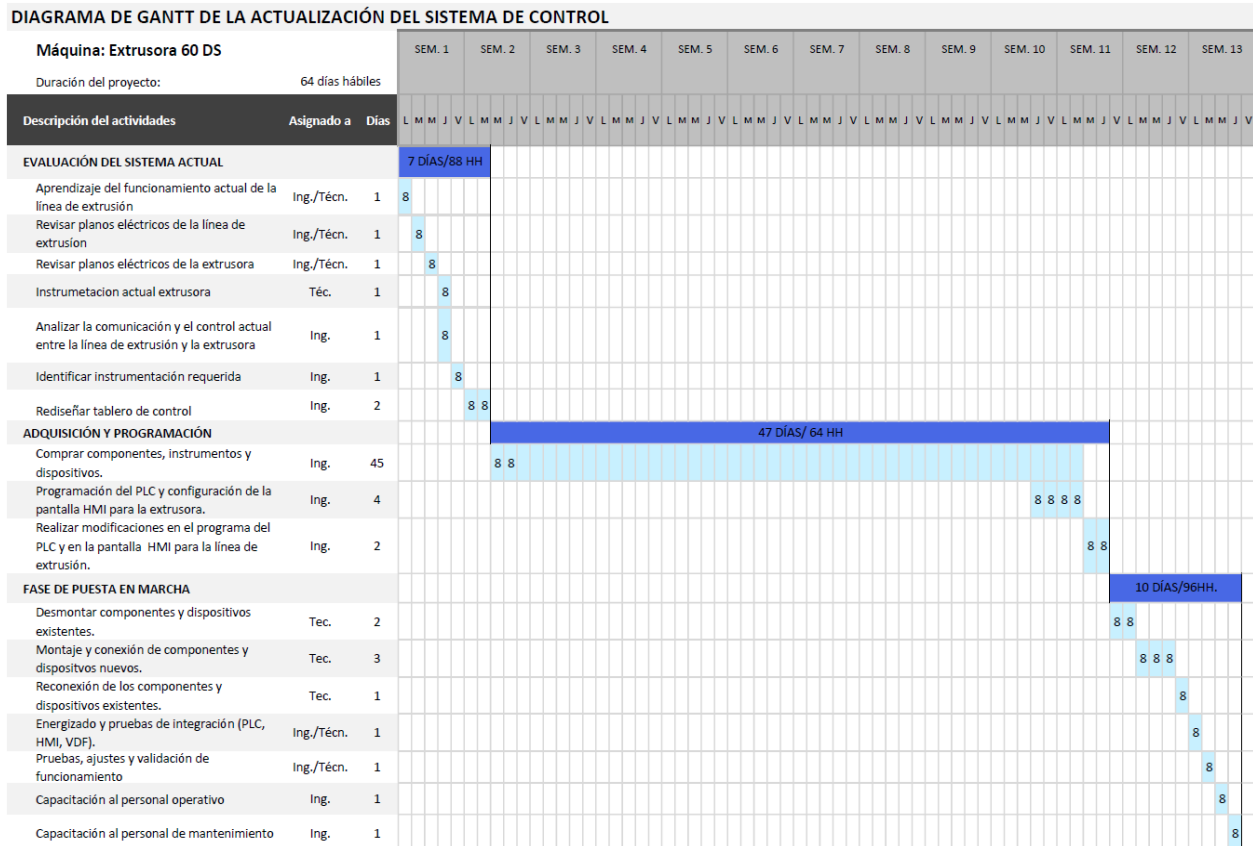
3.1.1.3 Ejecución

La ejecución es la etapa del proyecto en la que se realizan las actividades necesarias para alcanzar los objetivos definidos. En esta fase, se contempla la planificación y asignación de las horas-hombre requeridas, considerando la complejidad de las tareas, así como los recursos humanos y técnicos disponibles para su desarrollo. Se llevan a cabo actividades esenciales, como la implementación técnica, la integración de sistemas, la realización de pruebas funcionales y el monitoreo continuo del avance, con el objetivo de garantizar el cumplimiento de los plazos establecidos.

- Evaluación del sistema actual: analizar en detalle el funcionamiento de la línea de extrusión y de la máquina extrusora, incluyendo el sistema eléctrico actual, la revisión de planos y la operación general de la línea. Esto permite elaborar la lista de instrumentos necesarios para su actualización.
- Adquisición y programación: Esta actividad incluye la adquisición de dispositivos e instrumentos, el desarrollo de la programación del PLC y la configuración de la pantalla HMI, tanto para la línea de extrusión como para la máquina extrusora, asegurando su integración con los componentes eléctricos existentes, como motores, sensores, actuadores y otros dispositivos del proceso.
- Fase de puesta en marcha: Incluye la instalación física de todos los componentes eléctricos y electrónicos en la máquina extrusora, así como la reconexión de los dispositivos existentes al tablero de control. También abarca la transferencia del programa al PLC y pantalla HMI de la extrusora, así como las modificaciones en el programa del PLC y pantalla HMI de la línea de extrusión. Además, se realiza la parametrización y las pruebas de funcionamiento del variador de frecuencia, junto con la verificación de variables críticas para asegurar el desempeño adecuado del sistema.

La capacitación se enfoca en preparar al personal para operar el nuevo sistema de control, abarcando tanto aspectos técnicos como formación en mantenimiento y operación.

En la figura 3-1 se ilustra la planificación detallada de las actividades, representada a través de un diagrama de Gantt. Esta herramienta permite visualizar claramente las tareas a realizar y sus plazos establecidos, lo que facilita el monitoreo del avance, la asignación eficiente de recursos y el control de las diferentes fases del proyecto hasta su finalización.



Fuente: Elaboración propia, basada en descripción de las actividades del proyecto.

Figura 3-1. Diagrama de Gantt de las actividades.

En la tabla 3-2, se presenta la distribución de horas-hombre asignadas a cada una de las actividades involucradas en el desarrollo del proyecto, con el objetivo de determinar las horas de trabajo destinado a labores técnicas y de ingeniería, lo que permite calcular su costo dentro del proyecto.

Tabla 3-2. Horas-hombre para actividades técnicas y de ingeniería.

Actividad		HHing	HHtéc
1	Evaluación del sistema actual	56	32
1.1	Aprendizaje del funcionamiento actual de la línea de extrusión	8	8
1.2	Revisar planos eléctricos de la línea de extrusión	8	8
1.3	Revisar planos eléctricos de la máquina extrusora	8	8
1.4	Instrumentación actual extrusora	0	8
1.5	Analizar la comunicación y el control actual entre la línea de extrusión y la extrusora.	8	0
1.6	Identificar instrumentación requerida.	8	0
1.7	Rediseñar tablero de control	16	0
2	Adquisición y programación	64	0
2.1	Comprar componentes, instrumentos y dispositivos.	16	0
2.2	Programación del PLC y configuración de la pantalla HMI para la extrusora.	32	0
2.3	Realizar modificaciones en el programa del PLC y en la pantalla HMI para la línea de extrusión.	16	0
3	Fase puesta en marcha	32	64
3.1	Desmontar componentes y dispositivos existentes.	0	16
3.2	Montaje y conexión de componentes y dispositivos nuevos.	0	24
3.3	Reconexión de los componentes y dispositivos existentes.	0	8
3.4	Energizado y pruebas de integración (PLC, HMI, VDF).	8	8

3.5	Pruebas, ajustes y validación de funcionamiento	8	8
3.6	Capacitación al personal operativo	8	0
3.7	Capacitación al personal de mantenimiento	8	0
Total		152	96

Fuente: Elaboración propia, basada en diagrama de Gantt.

Se contempla la intervención de un ingeniero, quien será responsable de las actividades de ingeniería descritas en la tabla 3-2. Para ello, se calcula el valor de las horas-hombre para este cargo, considerando los siguientes factores:

$$HHing = \left[\frac{RiL \times DS}{DM} \right] \times \left[\frac{N}{HS} \right]$$

Donde:

- *HHing* es el costo por horas-hombre para un ingeniero.
- *RiL* es la remuneración líquida de 39,06 UF para un ingeniero en la empresa.
- *DS* son los días de la semana correspondiente a 7 días.
- *DM* son los días del mes correspondiente a 30 días.
- *N* es el número de trabajadores.
- *HS* son las horas semanales trabajadas correspondiente a 40 horas.

También considera la intervención de un técnico, quien será responsable de las actividades técnicas descritas anteriormente en la tabla 3-2. Para ello, se calcula el valor de las horas-hombre requeridas, considerando los siguientes factores:

$$HHtec = \left[\frac{RtL \times DS}{DM} \right] \times \left[\frac{N}{HS} \right]$$

Donde:

- *HHtec* es el costo por horas-hombre para un técnico.
- *RtL* es la remuneración líquida de 23,44 UF para un técnico en la empresa.
- *DS* son los días de la semana correspondiente a 7 días.
- *DM* son los días del mes correspondiente a 30 días.
- *N* es el número de trabajadores.
- *HS* son las horas semanales trabajadas correspondiente a 40 horas.

En la tabla 3-3 se detallan los costos asociados a la ejecución de las actividades técnicas y de ingeniería del proyecto, especificando las horas-hombre estimadas y su costo correspondiente para cada área.

Tabla 3-3. Costo total de horas-hombre.

Actividad	Horas	Valor HH (UF)	Costo (UF)
Ingeniería	152	0,23	35,0
Técnicas	96	0,14	13,4
Total			48,4 UF

Fuente: Elaboración propia, basado en cálculo de horas-hombre.

3.1.2 Costos indirectos

Con el propósito de cubrir los costos indirectos asociados al proyecto, se ha estimado un porcentaje del 15% aplicado sobre los costos directos. Este porcentaje se distribuye considerando las siguientes subcategorías.

- Logística y transporte
- Adaptaciones mecánicas
- Imprevistos

3.1.2.1 Logística y transporte

Considera el traslado de equipos y materiales eléctricos necesarios para la ejecución del proyecto. Esta subcategoría representa el 15% del total de los costos indirectos.

3.1.2.2 Adaptaciones mecánicas:

Contempla la fabricación o modificación de componentes mecánicos, tales como soportes, acoples y bases, necesarios para el montaje de los instrumentos y para el motor de CA.

Se ha asignado un 35% del total de los costos indirectos a esta subcategoría.

3.1.2.3 Imprevistos:

Corresponde a honorarios adicionales para actividades técnicas y de ingeniería, así como a la adquisición de repuestos y materiales de emergencia que puedan ser necesarios durante el desarrollo del proyecto. Esta subcategoría representa el 50% de los costos indirectos.

En la tabla 3-4 se presenta un desglose detallado de los costos por categorías, junto con el valor total que representará la inversión inicial del proyecto, facilitando así una comprensión clara para la asignación de recursos.

Tabla 3-4. Resumen de los costos por categorías.

Categoría	Costos (UF)
Costos directos	1034,0
Tablero y equipos	985,6
Softwares	0,0
Ejecución	48,4
Costos indirectos	155,1
Logística y transporte	23,3

Adaptaciones mecánicas	54,3
Imprevistos	77,5
Total	1.189,1 UF

Fuente: Elaboración propia, basada en costos directos e indirectos del proyecto.

3.2 **BENEFICIOS ESPERADOS**

La actualización del sistema de control de la máquina extrusora trae consigo múltiples beneficios operativos y económicos. En esta sección se analizan los principales impactos positivos derivados de la implementación del proyecto, organizados en cuatro áreas:

- Reducción de no conformidades y consumo de materias primas.
- Incremento en la capacidad de producción.
- Disminución de tiempos de inactividad.
- Eficiencia energética y mantenimiento.

Estos beneficios se presentan detalladamente, respaldados por cálculos basados en datos proporcionados por la empresa y proyectados según las condiciones del proyecto.

3.2.1 **Reducción de no conformidades y de materias primas**

Mediante el uso de sistemas de control avanzados, se logra una reducción significativa de no conformidades y pérdidas de material, con un ahorro estimado de entre un 5% y un 15% en productos rechazados por no cumplir con las especificaciones de calidad. Adicionalmente, al incorporar el sistema de control de diámetro en la línea de extrusión, se obtiene un ahorro del 5% en el consumo de materias primas, al mantener el diámetro dentro de su valor nominal, lo que optimiza el uso del material.

En la tabla 3-5 se indica el beneficio asociado a la disminución de productos no conformes, para los porcentajes mínimo y máximo de ahorro, el cálculo se realizó considerando los siguientes factores:

$$BE = PNC \times P\% \times PV$$

Donde:

- *BE* es el beneficio esperado.
- *PNC* es la cantidad de producto no conforme anual.
- *P%* es el porcentaje evaluado.
- *PV* es el precio de venta actual.

Tabla 3-5. Beneficio esperado por disminución de productos no conformes.

Cantidad anuales de productos no conformes	Valor del producto (UF)	Ahorro 5% (UF)	Ahorro 10% (UF)	Ahorro 15% (UF)
5.000 kg	0,071	17,75	35,5	53,3

Fuente: Elaboración propia, basado en datos proporcionados por la empresa.

El beneficio esperado será aquel que presente el mayor porcentaje dentro de los criterios de evaluación establecidos.

En la tabla 3-6 se presenta el beneficio por ahorro de materias primas correspondiente al material aislante utilizado para recubrir el conductor eléctrico. El cálculo se realizó considerando los siguientes factores:

$$BE = MP \times 5\% \times PC$$

Donde:

- *BE* es el beneficio esperado.
- *MP* es la cantidad de materias primas anuales.
- *PC* es el precio costo de materia prima.

Tabla 3-6. Beneficio esperado por en materias primas.

Cantidad anual materia prima	Costo materia prima (UF)	Ahorro 5% (UF)
24.000 kg	0,0284	34,1

Fuente: Elaboración propia, basados en datos proporcionados por la empresa.

3.2.2 Incremento de la capacidad de producción

Con sistemas de control avanzados, la capacidad de producción mejora significativamente. Se espera un aumento del 50% en la velocidad de la línea de extrusión, manteniendo la calidad del producto. En términos económicos, este incremento genera un costo adicional equivalente al 40% del valor de venta del producto. Además, se estima que el mercado puede absorber solo el 15% de la producción adicional debido al aumento de la velocidad.

La tabla 3-7 se muestra el beneficio esperado, considerando los siguientes factores:

$$BE = PE \times 15\% \times (PV - CA)$$

Donde:

- BE es el beneficio esperado.
- PE es la producción adicional por aumentos en la velocidad.
- PV es el precio de venta actual.
- CA es el costo adicional debido al aumento de velocidad.
- El 15% es la capacidad de absorción del mercado.

Tabla 3-7. Beneficio esperado por aumento de la velocidad de la línea de extrusión.

Producción anual	Producción adicional	Capacidad de absorción	Valor venta del producto (UF)	Costos adicionales (UF)	Beneficio esperado (UF)
96.000 kg	48.000 kg	15%	0,071	0,0284	306,7

Fuente: Elaboración propio, basado en datos proporcionados por la empresa.

3.2.3 Reducción de tiempos de inactividad

Las capacidades de monitoreo y control en tiempo real facilitan la detección y corrección rápida de problemas, lo que reduce el riesgo de fallas y minimiza los errores humanos. Con estas mejoras, se anticipa una reducción del 30% en los tiempos de inactividad no planificados, cuyo promedio mensual es de 6 horas. En la tabla 3-8 se presentan los valores calculados para este beneficio, los cuales fueron obtenidos considerando los siguientes factores:

$$BE = \frac{(PA \times TIA \times 30\%)}{TFA} \times PV$$

Donde:

- *BE* es el beneficio esperado.
- *PA* es la producción anual.
- *TIA* es el tiempo de inactividad anual el cual es de 72 horas.
- *TFA* es el tiempo de operación anual, de 3,120 horas.
- *PV* es el precio de venta actual.

Tabla 3-8 Beneficio esperado por reducción de tiempos de inactividad.

Producción anual	Aumento anual de la producción al reducir tiempos	Valor promedio del producto (UF)	Beneficio esperado (UF)
96.000 kg	665 kg	0,071	47,2

Fuente: Elaboración propia, basado en datos proporcionados por la empresa.

3.2.4 Eficiencia energética y mantenimiento:

La implementación de un variador de frecuencia junto con un motor de corriente alterna y la optimización de la regulación de las temperaturas en la extrusora, aporta múltiples beneficios, se espera un ahorro energético de un 30% y una reducción de los costos de mantenimiento. Esto se logra al eliminar tareas recurrentes como el reemplazo de escobillas eléctricas, la limpieza o cambio de filtros de aire y la necesidad de un mantenimiento anual preventivo para el motor de CC.

Para calcular el beneficio esperado en eficiencia energética y mantenimiento, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Las horas de funcionamiento de 3.120 horas anuales.
- El costo de la energía se establece en 100 CLP por cada kWh.
- La potencia demandada por la extrusora de 15 kW.
- Se proyecta un ahorro anual de 6 UF en costos de mantenimiento preventivo.

En la tabla 3-9 se indica el beneficio esperado por eficiencia energética, los cuales fueron obtenidos considerando los siguientes factores:

$$BE = \frac{PD \times PE \times TFA \times 30\%}{UF}$$

Donde:

- *BE* es el beneficio esperado.
- *PD* es la potencia demandada por la máquina extrusora.
- *PE* es el costo de la energía.
- *TFA* es el tiempo de funcionamiento anual.
- *UF* es el valor de la unidad de fomento de 38.400 CLP.
- El 30% representa el porcentaje estimado de ahorro en energía eléctrica.

Tabla 3-9. Beneficio esperado por eficiencia energética.

Potencia demandada promedio	Horas de funcionamiento anuales	Consumo energético (kW/h)	Eficiencia energética (kW/h)	Ahorro energético (UF)
15 kW	3.120	46.800	14.040	36,6

Fuente: Elaboración propia, basado en datos proporcionados por la empresa.

En la tabla 3-9 se muestra un resumen detallado de los beneficios esperados, junto con el valor total que representará los ingresos anuales del proyecto.

Tabla 3-10 Total beneficios esperados del proyecto

Beneficios esperados	UF
Reducción de no conformidades	53,3
Reducción de materia primas	34,1
Incremento de la capacidad de producción	306,7
Reducción de tiempos de inactividad	47,2
Eficiencia energética	36,6
Ahorro por mantenimiento (motor de CC)	6,0
Total	483,9 UF

Fuente: Elaboración propia, basado en beneficios según las categorías.

3.3 FLUJO DE CAJA PROYECTADO

El flujo de caja proyectado es una herramienta fundamental en la evaluación económica de proyectos, ya que registra los ingresos y egresos efectivos en cada período, permitiendo estimar la capacidad del proyecto para generar recursos de manera continua. Además, facilita la comprensión de las equivalencias entre valores presentes y futuros, proporcionando una base sólida para analizar su viabilidad y rentabilidad. El período de evaluación es de cinco años, lo que permite obtener una visión clara del desempeño financiero del proyecto a mediano plazo.

Para la ejecución de este proyecto, se contempla un financiamiento mediante un crédito comercial que cubre el 75% del valor de la inversión inicial, que corresponde al total de los costos de implementación. Los ingresos corresponden a los beneficios esperados generados por el proyecto, los cuales se proyectan de manera constante durante el período de análisis.

Además, se puede obtener los indicadores de rentabilidad, como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), los cuales son fundamentales para evaluar la viabilidad financiera del proyecto.

Para financiar el proyecto mediante un crédito comercial a largo plazo (LP), es fundamental analizar la distribución de los pagos entre intereses y amortización durante el período proyectado. Esta información es clave para planificar adecuadamente el flujo de caja del proyecto, ya que los pagos periódicos representan egresos constantes que deben ser considerados en las proyecciones financieras. Este análisis tiene como objetivo garantizar que los ingresos generados por el proyecto sean suficientes para cubrir las obligaciones financieras sin comprometer su viabilidad económica.

La tabla 3-11 muestra cómo se distribuyen los pagos entre intereses y amortización a lo largo del tiempo.

Tabla 3-11. Tabla de amortización del préstamo.

Tabla de amortización para el financiamiento inicial				
Monto	890	Los cálculos se basan en la unidad monetaria UF para un crédito comercial destinado a financiar el 75% del costo de implementación del proyecto.		
Periodo	5 años			
Interés	9,4 % anual			
Número de periodos	Saldo deuda crédito	Intereses	Amortización	Cuota
1	742,4	83,5	147,6	231,1
2	580,0	69,6	161,4	231,1
3	404,4	54,5	176,6	231,1
4	211,3	37,9	193,1	231,1
5	0,0	19,8	211,3	231,1

Fuente: Elaboración propia, basada en tasa de interés del banco central de Chile.

Antes de elaborar el flujo de caja proyectado, es fundamental definir la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). Esta tasa representa el retorno mínimo que un inversor o una empresa requiere para considerar viable una inversión, teniendo en cuenta los riesgos asociados. La TMAR establece el punto mínimo de ganancia necesario para que una inversión sea rentable, compensando riesgos como el riesgo país, la inflación y la tasa de interés.

En la tabla 3-12, se muestra el valor de la TMAR obtenida de manera sencilla, al realizar la suma porcentual del indicador de riesgo país, la tasa de interés y la tasa de inflación.

Tabla 3-12. Tasa mínima aceptable de rentabilidad.

Tasa de interés	Tasa de inflación	Indicador riesgo país	TMAR
5,0%	4,20 %	1,18%	10,38%

Fuente: Elaboración propia, basada en datos del banco central de Chile.

En la figura 3-2 se presenta la elaboración del flujo de caja proyectado, que incluye un préstamo para financiar el 75% de los costos de implantación, considerando una TMAR del 10,38%, la cual se utiliza como tasa de descuento en los cálculos del Valor Actual Neto (VAN).

	MONEDA U.F.	0	1	2	3	4	5
	Beneficios Esperados						
+	Producto por No Conformidades		53	53	53	53	53
+	Ahorro en Materias Primas		34	34	34	34	34
+	Aumento Capacidad de Producción		307	307	307	307	307
+	Disminución Tiempos de Inactividad		47	47	47	47	47
+	Eficiencia Energética		37	37	37	37	37
+	Mantenimiento Preventivo Motor DC		6	6	6	6	6
=	Total Beneficios		484	484	484	484	484
	Costos de Implementación						
-	Tablero y Equipos	-986					
-	Softwares	0					
-	Ejecución	-48					
-	Costos Indirectos	-155					
=	Total Costos de Implementación	-1189					
	Margen bruto		484	484	484	484	484
-	Intereses LP		-84	-70	-55	-38	-20
=	Utilidad Antes de Impto.		400	414	429	446	464
-	Impuesto % (25%)		-100	-104	-107	-112	-116
=	Utilidad Des. Impto.		300	311	322	335	348
-	Amortización LP		-148	-161	-177	-193	-211
=	Total Anual	-1189	153	149	145	141	137
+	Préstamo LP	890					
=	Flujo Neto de Caja	-299	153	149	145	141	137
	Flujo de caja corregido	-299	138	123	108	95	83
	Flujo de caja acumulado	-299	-161	-38	70	165	249
	PERÍODO	0	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia, basado en costos y beneficios del proyecto.

Figura 3-2. Flujo de caja para un financiamiento del 75%

3.3.1 Indicadores financieros

Estos indicadores de evaluación son esenciales para cualquier proyecto de inversión, ya ayudan a determinar la rentabilidad de un proyecto, decidir si un proyecto es o no conveniente para un inversionista, priorizar o jerarquizar (ordenar) los proyectos de una cartera de inversión, entre otras. Los siguientes indicadores fueron calculados mediante herramientas de Microsoft Excel, las cuales facilitan el procesamiento de datos complejos. Para este propósito, se consideran tres indicadores fundamentales, ampliamente reconocidos en el campo de la evaluación de proyectos:

- 1) **Valor actual neto (VAN):** Este indicador permite determinar si un proyecto es rentable y, por tanto, rentable económicamente. Para este caso, el proyecto presenta un valor positivo de 249, lo que significa el proyecto permitirá obtener una ganancia adicional

de 249 UF (incluida la tasa de descuento de los recursos usados), por lo que es recomendable realizarlo.

- 2) Tasa interna de retorno (TIR): corresponde a la tasa de descuento máxima para que un proyecto se rentable, haciendo que el valor presente de los flujos de caja futuros sea igual al costo inicial de la inversión, lo que significa que el valor actual neto (VAN) sea cero. La TIR obtenida es del 40%, lo que es superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) considerada como tasa de descuento para este proyecto, confirmando la rentabilidad del proyecto.
- 3) Índice de exceso del valor actual neto (IVAN): Este indicador mide la razón entre el VAN y la inversión inicial. Se utiliza como un indicador de rentabilidad relativa, mostrando cuánto valor adicional se genera por cada unidad monetaria invertida. En este caso, el IVAN obtenido es de 0,8 indicando que el proyecto es rentable ya que, por cada unidad invertida, se genera un valor adicional de 0,8 veces la inversión inicial.

En conclusión, los resultados obtenidos como se muestran en la tabla 3-13, indican que el proyecto es financieramente viable y rentable. El valor actual neto (VAN) positivo demuestra que los ingresos generados superan la inversión inicial, mientras que la tasa interna de retorno (TIR) supera la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), confirmando una rentabilidad significativa. Además, el índice de exceso del valor actual neto (IVAN) de 0,8 sugiere un retorno neto adicional del 80% sobre la inversión inicial.

Tabla 3-13. Indicadores financieros.

VAN	TIR	IVAN
249 UF	40%	0,8

Fuente: Elaboración propia, basada en el análisis del flujo de caja proyectado.

3.3.2 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad tiene como objetivo estudiar el impacto que un cambio en una variable de entrada, como los beneficios esperados, tiene sobre una variable de salida, como el VAN o la TIR. Este enfoque es especialmente útil en la preparación y evaluación de proyectos,

dado que es común no tener certeza sobre el valor exacto que adoptarán ciertas variables durante la ejecución del proyecto.

A través de este análisis, es posible visualizar cómo varía el VAN al ajustar los beneficios esperados o los ingresos proyectados durante el período de evaluación, manteniendo constantes las demás variables.

Se lleva a cabo un análisis de sensibilidad sobre las variables que tienen el mayor impacto en los ingresos del proyecto. En este caso, se evalúa el beneficio generado por el aumento en la capacidad productiva y la disminución de no conformidades.

El objetivo es identificar el porcentaje de velocidad de producción a partir del cual el proyecto comienza a ser rentable y recupera la inversión inicial. Para ello, se analizan diferentes porcentajes de velocidad de producción junto con los ingresos correspondientes, como se detalla en la tabla 3-14.

Tabla 3-14. Beneficios esperados según diferentes porcentajes de velocidad.

Incremento de velocidad	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Velocidad [m/min]	20	22	24	26	28	30
Producción adicional [kg]	0	9.600	19.200	28.800	38.400	48.000
Ingreso (UF)	0,00	61,34	122,69	184,03	245,38	306,72

Fuente: Elaboración propia, basado en datos proporcionados por la empresa.

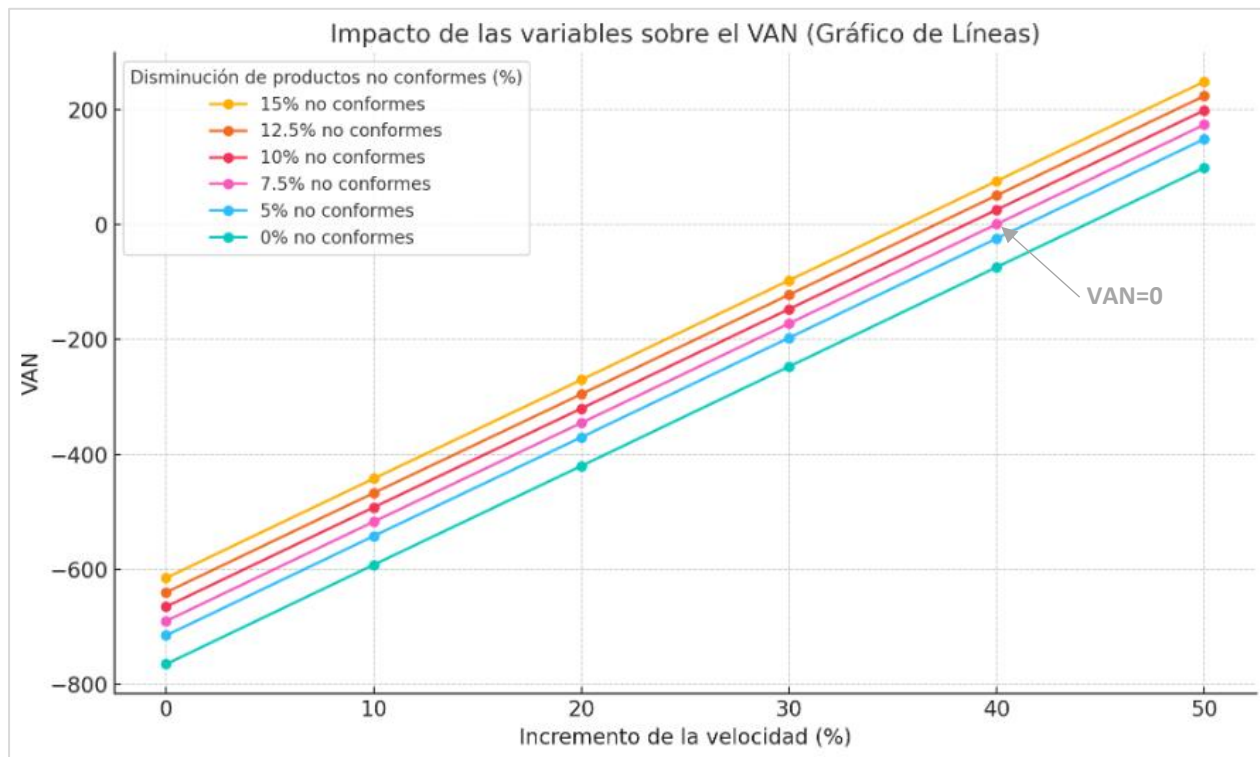
Otra de las variables de impacto relevante es la reducción de productos no conformes, que se estima generará un ahorro entre un 5 % y un 15 %. Para ello, se calculará un rango de porcentajes de ahorro, como se presenta en la tabla 3-15. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar cómo estos ahorros influirán en el flujo de caja proyectado.

Tabla 3-15. Beneficios esperados según porcentajes de ahorro de productos no conformes.

Porcentaje de ahorro	0%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%
Ahorro en productos no conformes [kg]	0	250	375	500	625	750
Ingreso (UF)	0,0	17,75	26,63	35,50	44,38	53,25

Fuente: Elaboración propia, según datos proporcionados por la empresa.

En la tabla 3-3 se presenta el porcentaje de velocidad en el cual la rentabilidad alcanza su punto de equilibrio, es decir, el momento en que el proyecto recupera exclusivamente la inversión inicial, sin generar ni pérdidas ni ganancias, lo cual se refleja cuando el VAN se aproxima a cero. En este caso, la velocidad de producción debe incrementarse en un 40% y la reducción de productos no conformes debe llegar al 7,5% para que el proyecto logre el punto de equilibrio. Sin embargo, aumentos de velocidad iguales o superiores al 40%, junto con un 10% de ahorro en productos no conformes, generarían beneficios adicionales para la empresa.



Fuente: Elaboración propia según flujo de caja proyectado.

Figura 3-3. Resultados del análisis de sensibilidad bidireccional sobre el VAN

CONCLUSIONES

A partir de la adecuada selección de la instrumentación, del controlador lógico programable (PLC), de una interfaz hombre máquina (HMI) y el desarrollo de un sistema de controlado enfocado en la supervisión, monitoreo y adquisición de datos, este proyecto demuestra que es posible implementar soluciones que mejoren sustancialmente la seguridad del proceso, optimicen los recursos y faciliten la sincronización de las máquinas en una línea de extrusión en modo tándem para conductores eléctricos. Esto permite abordar con éxito las dificultades asociadas a la operación independiente de máquinas en sistemas coordinados.

Entre los principales beneficios obtenidos destacan la reducción de materias primas no conformes, el aumento de la capacidad productiva y una mayor eficiencia energética. Estos resultados no solo optimizan los costos operativos, sino que también garantizan una operación más segura y sostenible, contribuyendo significativamente a la mejora continua de los procesos en la empresa.

Finalmente, se sugiere como trabajo futuro la evaluación de sistemas predictivos basados en inteligencia artificial para anticipar anomalías y optimizar aún más el proceso de extrusión.

BIBLIOGRAFÍA

RAUWENDAAL, Chris. Polymer Extrusion. 5ª ed. Munich: Hanser Publishier, 2013. 934 p.
ISBN 978-1-56990-516-6.

SIEMENS. Sieportal. [En línea]. <<https://sieportal.siemens.com/en-ww/home>>.
[Visitado: Noviembre 2024].

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. Libros digitales Udc. [En línea].
<<https://libros.udec.cl/index.php/udec/catalog/book/39>>.
[Visitado: Diciembre 2024].