



Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Eléctrica

Proyecto final de Ingeniería

“Diseño de sistema debobinador automático con
capacidad de regeneración de energía”

Autor: Gonzalez, Guillermo Adrian (G-5532/8)

Director: Bouhier, Ariel Oscar

febrero de 2025

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal diseñar un sistema de accionamiento, control y monitoreo utilizando el software TIA Portal (TIA) de Siemens, para un el debobinador de una línea automatizada de corte transversal de bobinas de chapa metálica. Además, se busca integrar una funcionalidad de regeneración de energía que permita maximizar la eficiencia del sistema.

La creciente demanda y exigencia en la industria siderúrgica requiere soluciones innovadoras que optimicen los procesos de fabricación. En este contexto, la automatización industrial se presenta como una herramienta fundamental para aumentar la eficiencia, mejorar la calidad y reducir costos en el proceso de laminación y formación de productos siderúrgicos.

La automatización del sistema debobinador permitirá un desenrollado controlado y preciso de las bobinas, asegurando una operación segura y eficiente en todo momento. La implementación de tecnología avanzada, como el software TIA Portal de Siemens, proporcionará una integración perfecta de los componentes y facilitará el control y monitoreo en tiempo real del proceso.

Además, se aprovechará la funcionalidad de regeneración de energía en el inversor trifásico para optimizar la eficiencia energética del sistema. La capacidad de recuperar y reutilizar la energía cinética generada durante el proceso de desenrollado de las bobinas brindará beneficios adicionales en términos de sostenibilidad y reducción de costos operativos.

La relevancia de este proyecto radica en la constante expansión de la industria siderúrgica y su creciente demanda de productos metálicos. La implementación de un sistema debobinador automatizado, eficiente y de alto rendimiento es fundamental para mantener la competitividad en el mercado actual. La automatización industrial se presenta como una solución estratégica para mejorar los procesos de fabricación, asegurar la calidad del producto y cumplir con las exigencias de los clientes.

Con la finalización exitosa de este proyecto, se espera contribuir al avance tecnológico en la industria siderúrgica y establecer un modelo a seguir en la optimización de procesos mediante la automatización del debobinador. Asimismo, se pretende sentar las bases para futuras investigaciones y desarrollos en el área, impulsando la eficiencia, sostenibilidad y competitividad en la industria del acero, en un contexto de crecimiento y demanda cada vez más desafiante.

Índice

I.	Introducción.....	4
II.	Objetivos generales.....	5
III.	Objetivos específicos.....	5
IV.	Marco Teórico.....	7
	La importancia de la Industria siderúrgica	7
	Procesos de laminación y formación de productos siderúrgicos	10
	Automatización industrial y su impacto en la industria siderúrgica.....	12
	Línea automatizada de aplanamiento y corte transversal	13
	Tecnología de regeneración de energía en la industria siderúrgica.....	15
	Resumen general	16
V.	Capítulo I: Especificación y selección de dispositivos de control para el Debobinador.....	17
	Introducción.....	17
	Análisis de requisitos y funcionalidades: definición de las especificaciones del PLC, módulos de ampliación y componentes del tablero de control.	18
	Especificación técnica del PLC, variador de frecuencia, Módulos de Ampliación y Componentes del Tablero.....	23
VI.	Capítulo II: Configuración y diseño del sistema de accionamiento en el TIA Portal.....	47
	Introducción.....	47
	TIA Portal: Portal de automatización totalmente integrada.....	48
	Configuración y Parametrización de Dispositivos en TIA Portal	52
	Establecimiento de Parámetros.....	59

Compilación del proyecto.....	66
Conclusión	68
VII. Capítulo III: Configuración y diseño del sistema de control del debobinador en el entorno del programa TIA Portal.....	70
Introducción.....	70
Control de motores eléctricos asincrónicos	72
Conclusión	112
Capítulo IV: Configuración del sistema de regeneración de energía.	114
Frenado eléctrico del motor	114
Configuración del frenado regenerativo	116
Capítulo V: Configuración y Diseño del sistema de Monitoreo.	118
Diseño del sistema de monitoreo del sistema	118
Capítulo VI: Simulaciones.....	122
1. Simulación del HMI	122
2. Simulación del comportamiento dinámico del sistema mediante gráficas	124
Capítulo VII: Conclusiones.....	126
Bibliografía.....	129

I. Introducción

La industria siderúrgica ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo y progreso de la humanidad, proporcionando el material clave para la construcción de infraestructuras, maquinarias y productos esenciales en nuestra vida diaria. El acero, una aleación de hierro y carbono, ha sido el protagonista indiscutible de esta industria, y su evolución ha sido impulsada por avances tecnológicos y procesos de fabricación más sofisticados a lo largo de la historia.

A su vez, la historia de la laminación del acero ha sido un camino lleno de avances, desde los diseños pioneros de Leonardo da Vinci hasta los modernos sistemas automatizados utilizados en la actualidad. La laminación del acero sigue siendo un proceso esencial en la producción de chapas y bobinas de alta calidad, indispensables en diversas aplicaciones industriales y de consumo.

El presente proyecto se enfoca en el diseño y desarrollo de un sistema debobinador automatizado que forma parte de una línea de corte transversal de bobinas de chapa metálica, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la calidad de la producción de dicha línea en la industria siderúrgica. La demanda constante y creciente de productos metálicos ha motivado la búsqueda de soluciones innovadoras que optimicen los procesos de fabricación y la utilización de recursos energéticos.

La automatización industrial ha demostrado ser una herramienta invaluable para lograr estos objetivos, permitiendo el control preciso y la supervisión en tiempo real de los procesos de laminación y formación de productos siderúrgicos. En este contexto, la utilización del software TIA Portal (TIA) de Siemens ofrece una integración perfecta de los componentes del sistema debobinador, facilitando su programación y configuración.

Los objetivos generales del proyecto se centran en la especificación y selección de los componentes del sistema de accionamiento y control, así como en la implementación de la funcionalidad de regeneración de energía en el inversor trifásico. Se busca lograr un sistema altamente eficiente, confiable y seguro, capaz de reducir los costos energéticos y optimizar el proceso industrial.

Los objetivos específicos detallados en el proyecto abarcan desde el análisis de requisitos y funcionalidades del sistema, hasta la configuración y diseño del sistema de accionamiento en el entorno del TIA Portal. Asimismo, se desarrollará un sistema de control que supervise y regule de manera precisa el desenrollado de las bobinas, y se implementará un sistema de monitoreo en tiempo real para detectar posibles fallas o desviaciones en el proceso.

Entonces, este proyecto se enfoca en la implementación de un sistema debobinador automatizado y eficiente para la industria siderúrgica, contribuyendo al avance tecnológico y al cumplimiento de los desafíos actuales en la producción de productos metálicos. La automatización industrial y la integración de la funcionalidad de regeneración de energía serán elementos clave para lograr un sistema altamente competitivo y sostenible en el campo de la fabricación de chapas utilizando el acero laminado.

II. Objetivos generales

1. Especificación y selección del PLC, módulos de ampliación y componentes del tablero de control para el sistema de accionamiento, control y monitoreo del debobinador.
2. Configurar y diseñar dentro del TIA Portal el sistema de accionamiento que permita el desenrollado controlado de bobinas de chapa metálica, garantizando una operación segura y eficiente.
3. Desarrollar un sistema de control que supervise y regule el proceso de desenrollado de manera precisa, asegurando la calidad del producto final.
4. Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real que proporcione información relevante sobre el estado y desempeño del debobinador, permitiendo la detección temprana de posibles fallas o desviaciones en el proceso.
5. Programar y configurar la funcionalidad de regeneración de energía en el inversor trifásico, permitiendo aprovechar la energía cinética generada durante el proceso de desenrollado de bobinas de chapa metálica para su posterior reutilización, con el fin de mejorar la eficiencia energética del sistema.
6. Realizar pruebas dentro del entorno de simulación del software TIA Portal para verificar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado en conjunto.
7. Elaborar un documento que detalle y explique el proceso de diseño y pruebas del sistema desarrollado.

Con la finalización de este proyecto, se espera lograr un sistema de debobinador de bobinas de chapa metálica altamente eficiente, confiable y seguro, con capacidad de regeneración de energía, lo cual contribuirá a la reducción de costos energéticos y a la optimización de los procesos industriales en el campo de la fabricación de productos metálicos.

III. Objetivos específicos

- Especificación y selección:
 - a. Analizar los requisitos y funcionalidades del sistema para determinar las especificaciones necesarias del PLC, los módulos de ampliación y los componentes del tablero de control.
 - b. Identificar y seleccionar el PLC que mejor se adapte a los requerimientos del debobinador teniendo en cuenta la capacidad de procesamiento, entrada/salida y comunicaciones.
 - c. Determinar los módulos de ampliación necesarios para satisfacer los requerimientos del sistema, como entradas/salidas adicionales o funcionalidades especiales, teniendo

- en cuéntala compatibilidad con el PLC seleccionado y las especificaciones técnicas del mismo.
- d. Definir los componentes necesarios para el tablero de control, teniendo en cuenta las funcionalidades necesarias para cumplir con los requerimientos del sistema.
- Configurar y diseñar el sistema de accionamiento:
 - a. Crear un nuevo proyecto en TIA Portal y definir los dispositivos físicos.
 - b. Configurar y parametrizar los dispositivos físicos, asegurando que cada uno esté correctamente integrado y preparado para la comunicación en red.
 - c. Establecer la configuración de la red y topología, garantizando una comunicación efectiva entre los dispositivos del sistema de accionamiento.
 - d. Realizar el proceso de puesta en servicio ("Commissioning") de los drives y otros dispositivos, ajustando los parámetros iniciales necesarios para su funcionamiento.
 - e. Verificar la correcta compilación del proyecto en TIA Portal para asegurar que la configuración y parametrización sean correctas.

 - Desarrollar un sistema de control
 - a. Introducir la estructura de programación en TIA Portal, explicando los diferentes tipos de bloques y su función en el contexto del sistema de accionamiento.
 - b. Investigar los diferentes métodos de control disponibles, describir sus características y seleccionar el que mejor se adapte a los requerimientos específicos del sistema de desenrollado de bobinas.
 - c. Describir y comprender el concepto de Motion Control utilizado por Siemens, y cómo se integra en TIA Portal para el control de motores.
 - d. Configurar y programar los bloques de control dentro de TIA Portal, incluyendo la lógica necesaria para el control preciso y eficiente del desenrollado de bobinas de chapa metálica.
 - e. Implementar y ajustar el método de control elegido, asegurando que cumple con los requisitos de precisión, seguridad y eficiencia para la operación del debobinador.
 - f. Realizar pruebas y simulaciones del sistema de control, validando que todos los parámetros y funciones operen según lo esperado y optimizando donde sea necesario.

 - Implementar un sistema de monitoreo
 - a. Diseñar una interfaz de monitoreo que muestre en tiempo real los parámetros relevantes del proceso de desenrollado, como la velocidad, la tensión y el diámetro del material.
 - b. Establecer alarmas y notificaciones para detectar posibles fallas o desviaciones en el desenrollado y alertar al operador para tomar las medidas correspondientes.

 - Programar y configurar la funcionalidad de regeneración de energía

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- a. Estudiar y comprender a fondo la funcionalidad y capacidades del inversor trifásico seleccionado en términos de regeneración de energía.
 - b. Programar y parametrizar adecuadamente la función de regeneración de energía en el inversor trifásico, teniendo en cuenta los requisitos específicos del proceso de desenrollado y las características de la energía generada.
 - c. Realizar pruebas y ajustes en el software TIA Portal para verificar la correcta operación de la función de regeneración de energía.
- Realizar pruebas
- a. Configurar y ejecutar simulaciones realistas del proceso de desenrollado de bobinas de chapa metálica utilizando el TIA Portal.
 - b. Validar el comportamiento del sistema de control en diferentes escenarios, ajustando los parámetros de control y verificando la respuesta del sistema.
- Elaborar un documento
- a. Preparar un informe técnico que describa los requisitos del sistema, el diseño del hardware y software, así como los métodos de control implementados.
 - b. Documentar las etapas del desarrollo, incluyendo las decisiones de diseño, los problemas encontrados y las soluciones adoptadas.
 - c. Explicar detalladamente las simulaciones realizadas en el software TIA Portal, destacando los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas.
 - d. Proporcionar una revisión crítica del proyecto, analizando los logros alcanzados, las limitaciones identificadas y las posibles mejoras o trabajos futuros recomendados.

IV. **Marco Teórico**

La importancia de la Industria siderúrgica

La industria siderúrgica, compuesta por la producción de hierro primario, acero, semiterminados y productos terminados, ocupa un lugar vital en la integración industrial de una economía. Al abastecer diversas industrias de consumo masivo como construcción, automotriz, electrodomésticos, agrícola y de energía, se posiciona como una de las cadenas más influyentes. Desde la obtención de insumos hasta la entrega de productos acabados, esta industria tiene un alcance expansivo que toca la vida cotidiana de las personas.

La siderurgia se desarrolla a través de tres etapas clave:

- o *Fundición*: mediante la utilización de altos hornos y equipos de reducción directa se procesa el mineral de hierro y otros insumos para obtener hierro primario en forma de arrabio o hierro esponja.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- **Aceración:** el hierro primario se transforma en acero líquido a través de su procesamiento en convertidores al oxígeno u hornos eléctricos. Tras la solidificación, mediante la colada continua, se obtienen productos semiterminados de acero como planchones y palanquillas, que son insumos indispensables para la elaboración de otros productos.
- **Laminación:** en esta última fase, se produce una variada gama de productos terminados en caliente. Estos pueden ser clasificados en dos grandes segmentos, los Laminados planos (Bobinas, Chapas y Flejes.), y los Laminados no planos (Alambres, Barras y Perfiles.)

Una interconexión intrincada entre estas fases da como resultado una industria dinámica y diversa.



Figura 1. Proceso de producción de acero y posterior utilización para fabricación de piezas.

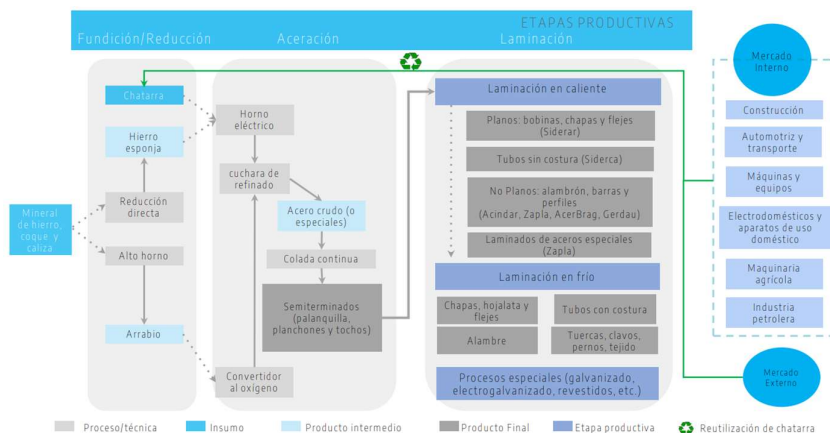


Figura 2. Etapas productivas.

Principales productos siderúrgicos fabricados en Argentina, según segmento productivo



Figura 3. Principales productos producidos.

La industria siderúrgica ha sido un pilar fundamental en el desarrollo y progreso de la humanidad, desempeñando un papel histórico crucial en la revolución industrial y dejando una huella significativa en el desarrollo económico y tecnológico de los países. Desde sus inicios, el acero, como una aleación clave en esta industria, ha sido protagonista indiscutible y ha evolucionado de manera extraordinaria, convirtiéndose en uno de los materiales más utilizados en el mundo moderno.

Argentina no ha sido la excepción de esto y el acero forma parte importante de la historia de nuestro país. Es por esto que el autor *Roberto Alfredo Villanueva* propone lo siguiente:

“En la Argentina, la industria siderúrgica ha estado presente desde hace mucho tiempo; y su desarrollo a través de los años ha sido un espejo en el que se han reflejado las acciones de los sucesivos poderes políticos y económicos, que fueron dando forma a la nación en la que hoy vivimos. Décadas hubo en las que fue enteramente ignorada, y otras en las que recibió un gran impulso estatal. Ella fue objeto de diversas estrategias políticas y tiene una historia tan antigua como poco conocida pese a su relación clara con el desarrollo fabril. Por eso, la historia de la siderurgia, que acumula desafíos, éxitos y fracasos, ofrece un elemento decisivo para comprender mejor la evolución de la industria argentina y, a través de ella, del desarrollo económico de la nación.

Según estudios arqueológicos se ha demostrado que, antes de la llegada de los conquistadores españoles, los Incas y otros pueblos periféricos realizaban actividades de explotación minera, preparación y fusión de metales. Se han hallado restos de hornos de fusión y herramientas rudimentarias de molienda, que testimonian el desarrollo de estas técnicas productivas en la cultura de estos pueblos.

Todos estos adelantos, trabajosamente logrados a través de los siglos, fueron borrados por el vendaval de la conquista y la colonización, la destrucción del imperio Inca y la servidumbre en la

que fueron sumidos los pueblos nativos. La producción metal mecánica inicio con dicha conquista; y su antecedente más histórico en el tiempo está en los establecimientos militares, creados como apoyo para la defensa de los asentamientos españoles.” (2007, *Historia de la siderurgia argentina*).

Hoy en día, la importancia de la industria siderúrgica sigue siendo innegable, y Argentina no es la excepción. La industria del acero juega un rol vital en la economía nacional, siendo un pilar fundamental en la generación de empleo y contribuyendo significativamente al producto interno bruto del país. La producción y consumo de acero en Argentina son indicadores clave de la actividad económica, reflejando el crecimiento industrial y la demanda interna de productos metálicos.

La siderurgia es un sector productor de insumos de uso difundido, ya que abastece a un amplio y diversificado conjunto de industrias, entre las que se destacan la actividad de la construcción, el sector automotriz y autopartista, la industria metalmeccánica, línea blanca y la industria del petróleo y gas. El precio de estos insumos resulta estratégico para la competitividad del conjunto del entramado productivo.



Figura 4. Evolución del empleo en industrias metalmeccánicas.

La industria siderúrgica enfrenta constantemente desafíos y oportunidades en un mundo cada vez más globalizado y tecnológico. La búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles para optimizar los procesos de producción y utilizar eficientemente los recursos energéticos es fundamental para mantener su relevancia en la economía actual.

Procesos de laminación y formación de productos siderúrgicos

La laminación consiste en la reducción de la sección transversal de un material, al hacerlo pasar entre rodillos cilíndricos que giran en sentido opuesto. Hoy en día, la laminación es el medio más económico para reducir la sección transversal de un material, y tiene por esto un gran campo de aplicaciones tanto en frío como en caliente.

Los procesos de laminación en caliente y en frío son técnicas fundamentales en la industria siderúrgica que permiten obtener láminas y bobinas de acero con diferentes grosores y dimensiones, satisfaciendo una amplia variedad de aplicaciones industriales y de consumo.

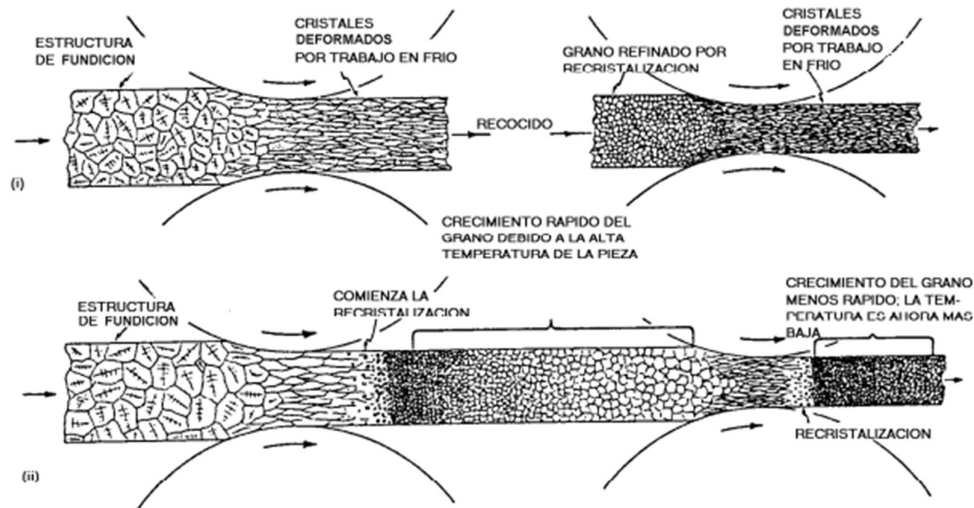


Figura 5. Proceso de laminación. i) en frío ii) en caliente

El laminado en caliente es un proceso que consiste en hacer pasar un lingote o una palanquilla de acero a través de una serie de rodillos a alta temperatura (generalmente superior a 926 °C para evitar su recristalización). Este proceso de deformación plástica produce una reducción en el espesor del material y lo moldea en láminas de acero de diversas dimensiones. El laminado en caliente es más económico, mejora la ductilidad y la maleabilidad del acero, permitiendo una mayor facilidad en su conformado y soldado. Además, la alta temperatura durante el proceso disminuye la resistencia del acero, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones que requieran una alta resistencia mecánica.

Durante el proceso de enfriamiento, el acero laminado en caliente se contrae, consiguiendo que su tamaño y forma final sean menos predecibles que los del laminado en frío. Este tipo de laminado se utiliza para elaborar barras que se destinarán para la soldadura, para la creación de rieles de trenes. En sí, este tipo de acero laminado se dispone en los proyectos de construcción en las que la forma y la precisión exacta no son necesarias.

Por otro lado, el laminado en frío implica hacer pasar las láminas de acero previamente laminadas en caliente a través de rodillos a temperatura ambiente. Este proceso adicional de laminación en frío proporciona un mayor control sobre el espesor del material y una mayor precisión en las dimensiones. El acero laminado en frío presenta una superficie más suave y uniforme, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una alta calidad superficial. Además, el proceso de laminación en frío aumenta la resistencia y la dureza del acero, haciéndolo adecuado para aplicaciones que requieran una mayor rigidez y resistencia a la fatiga. Este tipo de laminados tiene una amplia gama de aplicaciones en industrias automotriz, línea blanca, luminarias, motores eléctricos y construcción, entre otros.

La producción de chapas y bobinas de acero mediante los procesos de laminación en caliente y en frío es esencial en numerosas aplicaciones industriales y de consumo. En la construcción, las láminas de acero laminado se utilizan para la fabricación de estructuras, vigas y perfiles. En la industria automotriz, el acero laminado se emplea en la fabricación de carrocerías, chasis y componentes. En el ámbito de electrodomésticos, maquinaria industrial y envases, las láminas y bobinas de acero encuentran su aplicación en diversos productos.

Automatización industrial y su impacto en la industria siderúrgica

Desde su inicio, la industria siderúrgica ha abrazado la automatización en su búsqueda de eficiencia y reducción de costos. La adopción de tecnologías automatizadas ha mejorado la precisión y seguridad de los procesos, a la vez que ha ampliado la capacidad de producción y reducido el impacto en el medio ambiente.

Las empresas siderúrgicas enfrentan un mercado global cada vez más competitivo donde un producto diferenciado y técnicamente más avanzado puede llegar a segmentos de mayor valor. Es por ello, que la innovación y el desarrollo tecnológico son indispensables ya que permite crear productos y materiales de mayor calidad y valor agregado, aumentan la productividad, la rentabilidad y el crecimiento de la empresa, impactan en la calidad de vida de las personas y disminuyen el impacto de la industria en el medio ambiente.

La automatización industrial ha revolucionado la industria siderúrgica al ofrecer un conjunto de tecnologías y sistemas que permiten controlar y supervisar los procesos de fabricación de manera eficiente, precisa y en tiempo real. Esta transformación ha tenido un impacto significativo en la productividad, la calidad del producto y la seguridad en la producción de productos siderúrgicos.

En el contexto de la automatización industrial, los PLCs (Controladores Lógicos Programables) han desempeñado un papel fundamental al permitir la programación y control de las operaciones de manera automática. Estos dispositivos han reemplazado en gran medida el control manual, lo que ha llevado a mejoras sustanciales en la seguridad, la eficiencia y la precisión de los procesos.

La integración de módulos de expansión y variadores de frecuencia también ha sido un factor clave en la optimización de la industria siderúrgica. Los módulos de expansión permiten agregar funcionalidades adicionales y aumentar la capacidad de los PLCs, lo que brinda mayor flexibilidad y adaptabilidad a los procesos productivos. Por otro lado, los variadores de frecuencia se utilizan para controlar la velocidad y el par de motores eléctricos, lo que permite ajustar de manera precisa el rendimiento de los equipos, optimizar el consumo de energía y, en algunos casos, hasta ser capaces de regenerar energía. Esto no solo ha contribuido a la eficiencia energética, sino que también ha reducido los costos operativos en la producción siderúrgica.

A nivel mundial, la automatización ha proporcionado beneficios significativos en la industria siderúrgica. Por ejemplo, en las líneas de producción de acero, la automatización ha permitido alcanzar altos niveles de precisión en el corte y el conformado de chapas y bobinas, lo que se traduce en productos finales de alta calidad.

Asimismo, la automatización ha mejorado la seguridad en los procesos industriales, al reducir la exposición de los trabajadores a situaciones de riesgo y minimizar errores humanos en la operación de maquinarias y equipos.

Línea automatizada de aplanamiento y corte transversal

La formación de productos siderúrgicos a partir del acero laminado es un proceso crucial en la industria del metal, y uno de los pasos fundamentales es el corte transversal de bobinas de chapa metálica. Esta operación permite obtener chapas de acero con dimensiones y grosores específicos, lo que satisface diversas aplicaciones industriales y de consumo.

La línea de corte transversal, un sistema automatizado, desenrolla bobinas de acero y ejecuta cortes precisos para producir chapas con dimensiones específicas. Este proceso incluye la carga automatizada de bobinas, el desenrollado controlado y la aplicación. La unidad de corte transversal realiza cortes perpendiculares, entregando tiras de acero listas para su posterior procesamiento. Equipado con sistemas de control y monitoreo, este proceso garantiza calidad y eficiencia.



Figura 6. Línea de aplanado y corte transversal FIMI.

El proceso de corte transversal comienza con la carga y centrado automático de las bobinas en el debobinador. Posteriormente, dispositivos robóticos se encargan de cortar el fleje que sostiene la bobina enrollada, esto puede hacerse tanto fuera de la línea como a bordo del debobinador.

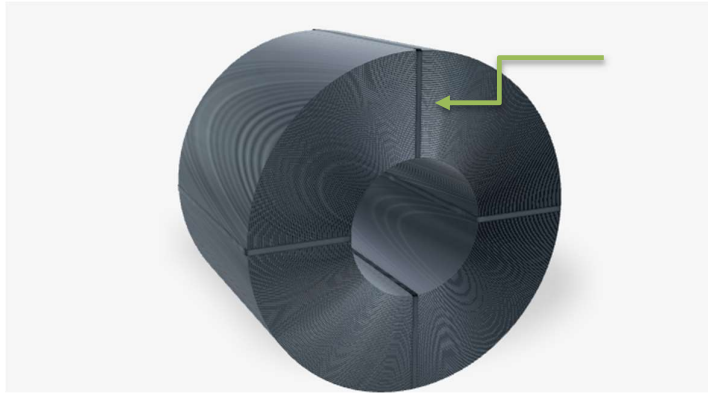


Figura 7. Bobina de chapa de acero.

Una vez cargada y liberada la bobina, comienza el desenrollado controlado de la misma mediante el debobinador, un componente clave de la línea. El mismo está diseñado con motores y sensores que permiten controlar la velocidad y tensión del desenrollado cuando el acero es tirado por la aplanadora, asegurando un suministro constante y uniforme de material a lo largo de toda la línea de corte.

La aplanadora tiene la función de corregir cualquier deformación presente en el acero. A medida que el material es tirado por la aplanadora el mismo se va desenrollando de manera controlada y pasando a través de la misma. Esta etapa es esencial para asegurar que el material esté en óptimas condiciones antes del corte, lo que contribuye a obtener chapas de acero con alta calidad y precisión.

Después de pasar por la unidad aplanadora, el material es conducido a la cizalla donde se realice corte transversal o en sentido perpendicular a la dirección de la bobina. Esta unidad está equipada con cuchillas o discos especiales que efectúan el corte transversal preciso, logrando tiras de acero (chapas) con las dimensiones deseadas.

Finalmente, estas chapas son transportadas por cintas hasta un sistema de apilado automático que forma un paquete de chapas que es embalado y etiquetado para su posterior entrega.

La línea de corte transversal cuenta con sistemas de control y monitoreo que supervisan y ajustan constantemente los parámetros del proceso. Esto asegura que las chapas de acero resultantes cumplan con los estándares de calidad y precisión requeridos por las aplicaciones industriales y de consumo.

Dentro de esta línea de producción, el debobinador asume un rol fundamental al desempeñarse como un componente esencial. Su funcionamiento se convierte en una pieza clave en el proceso global de creación de productos siderúrgicos. Mediante la coordinación precisa de motores y sensores, accionados por un variador y controlados por un PLC, el debobinador ejecuta un desenrollado de las bobinas de acero de manera uniforme y controlada. Este proceso meticuloso y ajustado asegura la obtención de chapas de la más alta calidad y exactitud, consolidando así la producción de productos siderúrgicos que cumplen con los estándares más exigentes.



Figura 8. Debobinador FIMI.

Particularmente, el debobinador está conformado por los siguientes componentes:

- > **Cuna de carga:** se encarga de llevar la bobina desde la zona de almacenaje hasta el mandril del debobinador y colocarla en él.
- > **Mandril:** se encarga de sostener la bobina en un eje que gira solidario al motor por medio de una caja de reducción. El mandril posee una suerte de “aletas” que al momento de carga la bobina se encuentra “contraídas” y cuando esta es cargada en el mandril se “expanden” con el fin de presionar desde el centro a la bobina y mantenerla firme durante el proceso.
- > **Snubber:** es el brazo mecánico que se encuentra sobre el mandril y tiene la función de mantener la bobina en su lugar cuando se corta el fleje que la sostiene y hasta que la misma sea enhebrada en el aplanador.
- > **Mesa de emboque:** La misma se levanta al principio del proceso y cumple la función de guiar el principio de la bobina hasta la boca del aplanador. Una vez que se enhebra la bobina, la misma baja y se mantiene así durante el proceso.
- > **Motor eléctrico AC:** es la fuente de energía mecánica del sistema, se encarga de convertir la energía eléctrica en movimiento.
- > **Sensores:** se encargan de detectar diferentes estados del proceso y se utilizarán en la lógica de programación como condicionamiento para iniciar movimientos o secuencias. Por ejemplo, podemos detectar si la mesa de emboque se encuentra levantada o no mediante ellos.

Tecnología de regeneración de energía en la industria siderúrgica

La búsqueda constante de eficiencia energética en la industria siderúrgica ha llevado a la exploración de innovaciones que no solo optimicen los procesos de fabricación, sino que también reduzcan los costos energéticos y minimicen el impacto ambiental. Una de estas soluciones es la tecnología de regeneración de energía, la cual se presenta como un recurso valioso para aprovechar energía cinética en procesos industriales y así contribuir a una operación más sostenible.

La esencia de la tecnología de regeneración de energía radica en su capacidad para recuperar y reutilizar energía cinética que de otro modo se disiparía como calor durante ciertos procesos. En el contexto de la línea de corte transversal de bobinas de chapa metálica, la energía cinética generada durante el desenrollado controlado de las bobinas puede ser recuperada y canalizada de

nuevo al sistema eléctrico. Esta funcionalidad no solo reduce el consumo energético neto, sino que también disminuye la carga sobre la infraestructura eléctrica y, por ende, los costos asociados.

En nuestro caso, el inversor trifásico seleccionado para este proyecto es un SINAMICS G120 constituido por un Power Module PM250 y una Control Unit CU250S-2. Este dispositivo, posee la función de Frenado con Realimentación de Energía y tiene la capacidad de capturar la energía cinética generada durante el desenrollado de las bobinas de chapa metálica para luego devolverla a la red. Esta energía se convierte en energía eléctrica que puede ser redirigida y reutilizada en otros procesos de la línea de corte, logrando así una mejora significativa en la eficiencia energética general.

El fabricante de estos dispositivos, Siemens, dice “El Power Module PM250 incorpora una tecnología única en el mundo, la *Efficient Infeed Technology*. Gracias a esta tecnología, cuando el motor funciona en régimen generador (frenado eléctrico) se devuelve energía a la red, en lugar de dejar que se disipe en una resistencia de freno, lo que ahorra espacio en el armario eléctrico. Puede prescindirse entonces del dimensionamiento de la resistencia de freno y su cableado y, además, se reduce el calor producido en el armario eléctrico.”

La relevancia de esta tecnología se extiende más allá de la industria siderúrgica. En un contexto global donde la conciencia ambiental y la sostenibilidad son imperativos, la regeneración de energía ha demostrado ser una herramienta clave en la reducción del consumo de energía y las emisiones contaminantes. Industrias como la automotriz y la manufacturera han implementado con éxito esta tecnología en sus procesos, generando un impacto positivo tanto en términos económicos como ambientales.

Resumen general

En resumen, la industria siderúrgica ha sido un motor de desarrollo histórico y una pieza clave en el desarrollo económico y tecnológico de los países. En el caso de Argentina, su contribución a la economía nacional y su impacto en la creación de empleo son aspectos fundamentales que destacan su importancia. El acero, como uno de los materiales más versátiles y utilizados en el mundo moderno, sigue siendo esencial en diversas aplicaciones industriales y de consumo, lo que subraya la relevancia continua de la industria siderúrgica a nivel global y local.

Los procesos de laminación en caliente y en frío son pilares fundamentales en la producción de láminas y bobinas de acero para aplicaciones industriales y de consumo. Estos procesos ofrecen la posibilidad de obtener acero con diferentes propiedades mecánicas y superficiales, lo que los convierte en técnicas vitales para la fabricación de productos metálicos utilizados en diversas industrias. La aplicación adecuada de cada proceso de laminación y la utilización de los distintos tipos de trenes de laminación aseguran la obtención de acero con las características óptimas para cada aplicación específica.

La automatización industrial ha sido un catalizador clave en la evolución de la industria siderúrgica, permitiendo una mayor eficiencia, precisión y seguridad en los procesos de fabricación de productos siderúrgicos. La integración de PLCs, módulos de expansión y variadores de frecuencia

ha jugado un papel fundamental en la optimización de la producción y la reducción de costos a nivel global. La aplicación de estas tecnologías representa un desafío constante en busca de la mejora continua y la excelencia en el campo de la ingeniería industrial.

La línea de aplanado y corte transversal desempeña un papel crucial en la industria, permitiendo obtener chapas de acero de diferentes dimensiones con alta calidad y precisión. El proceso de desenrollado controlado, la unidad aplanadora y la unidad de corte trabajan en conjunto para asegurar un proceso eficiente y optimizado, garantizando el suministro de materiales necesarios para diversas aplicaciones en la industria y la construcción. La automatización y el control preciso durante todo el proceso contribuyen a mejorar la eficiencia y la calidad en la producción de productos metálicos.

La tecnología de regeneración de energía representa un hito en la búsqueda de la eficiencia y sostenibilidad en la industria siderúrgica y más allá. Su aplicación en el contexto de la línea de corte transversal de bobinas de chapa metálica no solo optimiza la operación energética, sino que también se alinea con los desafíos globales en materia ambiental y climática. El proyecto propuesto se erige como una manifestación concreta de cómo estas innovaciones pueden llevar la industria hacia un futuro más sostenible y eficiente.

V. *Capítulo I: Especificación y selección de dispositivos de control para el Debobinador*

Introducción

En el ámbito industrial de la ingeniería, la eficiencia y la precisión son aspectos fundamentales para el desarrollo exitoso de sistemas y procesos. La correcta selección de dispositivos de control desempeña un papel crucial en la optimización de estos factores en cualquier sistema automatizado. En este primer capítulo, abordaremos el proceso de especificación y selección de los dispositivos de control para el sistema en cuestión. El objetivo principal es analizar de manera integral los requisitos específicos del sistema, lo que nos permitirá tomar decisiones fundamentadas en cuanto a la elección del Controlador Lógico Programable (PLC), la identificación de posibles módulos de expansión, la selección adecuada de un variador de frecuencia y la definición de los componentes que integrarán el tablero de control. A medida que avancemos en este capítulo, exploraremos las consideraciones técnicas y funcionales que guiarán nuestras elecciones, sentando las bases para un sistema robusto y eficiente en las etapas venideras.

Al finalizar este capítulo pretendemos tener una lista de materiales a utilizar con sus respectivos números de identificación dados por Siemens. Estos números permiten tanto hacer el pedido de compra al fabricante como visualizar las características técnicas de cada dispositivo de manera rápida y sencilla en el Industry mall de Siemens. El éxito en esta fase de selección no solo asegurará un funcionamiento óptimo, sino que también sentará las bases para un desarrollo coherente y fluido del proyecto en su conjunto.

Análisis de requisitos y funcionalidades: definición de las especificaciones del PLC, módulos de ampliación y componentes del tablero de control.

En esta sección, realizaremos un análisis exhaustivo del funcionamiento del debobinador, explorando en detalle las distintas etapas y procesos involucrados en el desenrollado controlado de las bobinas de acero. Este análisis nos permitirá identificar los puntos críticos que requieren control y supervisión para garantizar un proceso eficiente y de alta calidad.

Descripción del debobinador

Proceso de desenrollado

La correcta ejecución del proceso de desenrollado es de vital importancia, ya que asegura un suministro continuo y uniforme de material, siendo esencial para obtener productos siderúrgicos de alta calidad y dimensiones precisas. Además, este proceso optimiza las etapas posteriores, como el aplanado y el corte transversal, al proporcionar una entrada constante y uniforme de material. Cualquier desviación en este proceso puede resultar en variaciones en las propiedades mecánicas y superficiales del acero, lo que, a su vez, afecta la calidad y el rendimiento del producto final.

Comenzamos describiendo en detalle el proceso para identificar todos los dispositivos clave que intervienen en el correcto funcionamiento del debobinador y, de esta manera, poder determinar los comandos más relevantes necesarios para la programación. Antes de esta descripción, se muestra la siguiente imagen en la que se pueden observar los dispositivos fundamentales del sistema:

1. Mandril o eje central
2. Aletas de expansión
3. Snubber
4. Mesa de emboque
5. Pinch Roll de emboque
6. Aplanador



Figura 1-1. Componentes claves del sistema.

El funcionamiento del debobinador comienza con la carga de la bobina en su estructura. Una vez que se detecta la presencia de la bobina, entra en acción el mandril, que se expande para ejercer una presión interna y asegurar la posición de la bobina. Simultáneamente, el snubber desciende y se posiciona en el exterior de la bobina para garantizar su estabilidad durante el corte del fleje de seguridad. Una vez completado este corte y con la sujeción firme del mandril, se procede a elevar y abrir la mesa de emboque.

La función principal de esta mesa radica en orientar y posicionar con precisión el extremo de la bobina en la entrada al pinch roll de emboque. Una vez que la bobina está en posición, el pinch roll la sujeta y comienza a girar para introducirla en el aplanador. Luego, con la bobina correctamente posicionada, el aplanador desciende y la presiona, y si todo está en orden, se da la autorización para iniciar el desenrollado. En esta etapa, la mesa de emboque regresa a su posición inferior, mientras que el snubber asciende. Estos movimientos coordinados marcan el inicio del proceso de desenrollado.

A medida que la bobina se va desenrollando y agotando, llegando al final, la mesa de emboque se eleva nuevamente y se abre. Este movimiento asegura que la cola de la bobina permanezca en una posición adecuada para mantener un flujo de producción continuo. Finalmente, al concluir el proceso de desenrollado, el mandril se contrae, y el debobinador queda en espera de una nueva bobina.

Este proceso orquestado de movimientos garantiza que la bobina se desenrolle de manera controlada y precisa, evitando desviaciones o atascos que puedan afectar la calidad y la eficiencia de la producción.

Componentes y mecanismos principales involucrados

El debobinador se compone de varios elementos interrelacionados que trabajan en conjunto para lograr el desenrollado controlado de las bobinas de acero. Los componentes y mecanismos principales involucrados en este proceso incluyen:

- > **Mandril o Eje Central:** Es el núcleo alrededor del cual se coloca la bobina de acero. Proporciona soporte y permite la rotación controlada durante el desenrollado. Dispone de aletas que posibilitan la expansión del eje para asegurar la posición adecuada de la bobina.
- > **Snubber o brazo de fijación:** Este componente mantiene el rollo armado durante el desenrollado inicial de la bobina, y hasta que esta sea enhebrada en el aplanador.
- > **Mesa de emboque:** Dirige la punta del material desenrollado por primera vez hacia el Pinch Roll de emboque. Esta misma acción la realiza con la cola de la bobina.
- > **Pinch Roll de emboque:** Estos dos rodillos, dispuestos uno encima del otro y capaces de girar libremente, dirigen el material desenrollado hacia la siguiente etapa del proceso, es decir, hacia el aplanador. Mantienen la alineación del material y previenen posibles atascos al poder acercarse para presionar el rollo de chapa y alinearlos con el aplanador.
- > **Sistema de Frenado:** Controla la velocidad de desenrollado y detiene el proceso según sea necesario. Esto asegura que el material se desenrolle de manera uniforme y sin problemas. La programación del variador de frecuencia y de un control a torque o velocidad constante permite realizar este control.
- > **Sistema de Control y Sensores:** Este sistema abarca desde sensores hasta encoders, lo que permite determinar la posición y la velocidad del desenrollado. Asimismo, incluye un sistema de control que regula la operación del debobinador para mantener parámetros predefinidos.
- > **Mecanismos de Seguridad:** Botones de parada de emergencia y sistemas de seguridad están incorporados para proteger tanto al personal como al equipo en caso de situaciones anómalas.

La interacción precisa de estos componentes garantiza un desenrollado uniforme y controlado de las bobinas de acero, lo que a su vez contribuye a la producción de productos siderúrgicos de alta calidad y dimensiones precisas.

Con un sólido entendimiento del proceso de desenrollado y la importancia de cada componente involucrado, el próximo paso es analizar los requisitos de control y supervisión para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro del debobinador en el contexto de la línea de producción global.

Requisitos de Control y Supervisión

El control y supervisión eficaces del proceso de desenrollado son imperativos para garantizar la calidad y la seguridad en la producción de láminas de acero. Para cumplir con estos objetivos, se plantean requisitos precisos en términos de control y supervisión del Debobinador.

Estos requisitos de control y supervisión abarcan desde la sincronización precisa de movimientos hasta la supervisión constante del proceso y la implementación de mecanismos de seguridad efectivos. Estos requisitos no solo garantizan la calidad y la eficiencia en la producción, sino que también contribuyen a un entorno de trabajo seguro y confiable.

El control y supervisión efectivos del Debobinador involucra la consideración de varios aspectos cruciales que aseguran su funcionamiento preciso y seguro. Entre estos factores destacan:

1. **Velocidad de Desenrollado y Sincronización:** El control del Debobinador debe permitir la regulación de la velocidad de desenrollado de la bobina. Además, es esencial lograr una sincronización perfecta con otros procesos posteriores en la línea de producción, como el aplanado y el corte transversal. Esto asegura un flujo continuo y uniforme en la producción.
2. **Control de Tensión:** Para evitar deformaciones en las bobinas durante el proceso de desenrollado, se debe implementar un control de tensión preciso. Esto implica ajustar la fuerza ejercida sobre la bobina para mantener una tensión constante durante todo el proceso, evitando posibles daños al material.
3. **Control del diámetro de la bobina:** Para poder realizar un control preciso del proceso, se debe saber con exactitud la cantidad de material que tiene el Debobinador a cada momento. Esto permite realizar de manera eficiente los controles de velocidad y tensión.
4. **Detección y Manejo de Anomalías:** El sistema de control debe estar equipado con la capacidad de detectar posibles atascos, desviaciones inesperadas en la velocidad de desenrollado o cualquier otra situación anómala. Ante tales eventos, el sistema debe tomar medidas adecuadas, como detener el proceso y alertar al operador.

Para lograr un control óptimo del Debobinador, se definen una serie de acciones clave que permiten supervisar y regular el proceso de manera efectiva:

- **Detección de carga de Bobina:** Mediante sensores, el sistema debe identificar cuándo una bobina está cargada en la estructura del Debobinador. Esta información activa los siguientes pasos del proceso.
- **Detección de posición del Snubber:** Se utilizan Sensores para detectar la posición del snubber, determinando si está abajo y en posición de mantener la bobina fija durante el corte del fleje de seguridad.
- **Detección de expansión de las aletas del Mandril:** Se utilizarán señales de las electroválvulas para detectar si las aletas están expandidas y listas para mantener la bobina en su posición.
- **Detección de posición de la Mesa de Emboque:** Se utilizan sensores para detectar la posición de la mesa, determinando si se encuentra elevada y abierta para guiar la punta de la bobina hacia el Pinch Roll de emboque.
- **Detección de posición del Pinch Roll de emboque:** Se utilizan sensores para detectar la posición del Pinch Roll, determinando si el rodillo superior bajo para poder embocar la punta de la bobina en la boca del aplanador.
- **Supervisión del corte de fleje:** El sistema debe estar atento al proceso de corte del fleje de seguridad, asegurando que se realice de manera precisa y completa antes de permitir el desenrollado.

- **Supervisión de tensión:** El sistema de control ajusta constantemente la fuerza ejercida sobre la bobina para evitar deformaciones.
- **Detección de atascos:** Se implementan sensores de movimiento que monitorean si la bobina está desenrollándose de manera adecuada. Cualquier atasco o desviación inesperada detendría automáticamente el proceso.
- **Control de Velocidad y Sincronización:** El sistema de control ajusta la velocidad de desenrollado y garantiza la sincronización precisa con otros procesos en la línea de producción.

La combinación de estos factores y acciones permite un control integral del proceso de desenrollado, asegurando la calidad del producto final y la eficiencia en la producción.

Integración en el sistema global

La integración fluida del Debobinador en el sistema global de la línea de corte transversal es un paso crítico para garantizar un funcionamiento coordinado y eficiente de todo el proceso. Esta integración se materializa a través de la red PROFINET, una infraestructura robusta que permite la comunicación en tiempo real entre los diversos componentes.

La interconexión del Debobinador con los otros elementos de la línea, como la unidad de aplanado y corte transversal, se establece mediante señales que facilitan la transferencia de información vital para el proceso. La red PROFINET, al proveer una comunicación de alta velocidad y baja latencia, posibilita la sincronización precisa entre los diferentes pasos del proceso de producción.

La unidad de aplanado y corte transversal depende de datos en tiempo real provenientes del Debobinador para asegurar que la bobina se desenrolle a la velocidad adecuada y con la tensión óptima. Esta sincronización precisa permite mantener la integridad del material y la calidad de las chapas resultantes. Asimismo, cualquier detección de posibles atascos o situaciones anómalas en el Debobinador puede comunicarse de manera instantánea a la unidad de aplanado y a la unidad de corte, permitiendo respuestas rápidas y la minimización de desperdicios.

En conjunto, la integración del Debobinador en el sistema global a través de PROFINET y la interconexión de señales ofrece un entorno de producción armonizado, donde los componentes trabajan en sinergia para lograr resultados de alta calidad de manera eficiente y confiable.

Seguridad

La seguridad en el funcionamiento del Debobinador es de suma importancia para salvaguardar tanto al personal como al equipo involucrado en el proceso. Para lograr un ambiente de trabajo seguro y prevenir posibles accidentes, se implementan medidas de seguridad rigurosas.

Estas medidas incluyen la instalación de un sistema de parada de emergencia que detiene inmediatamente el proceso en caso de detectarse una situación potencialmente peligrosa. Además, el Debobinador se equipa con sistemas de detección de atascos y fallas que, al identificar

condiciones anómalas, detienen automáticamente la operación para evitar daños en el equipo y garantizar la integridad de los operadores.

Estos procedimientos no solo aseguran la operación segura del Debobinador, sino que también contribuyen a la creación de un entorno de trabajo confiable y protegido para todos los involucrados.

Especificación técnica del PLC, variador de frecuencia, Módulos de Ampliación y Componentes del Tablero

En este apartado, se traducirán los hallazgos del análisis de requisitos y funcionalidades en especificaciones concretas para los dispositivos de control del sistema. Con base en el análisis del debobinador y su integración en el sistema global, se determinarán las capacidades necesarias del PLC, el variador de frecuencia, los módulos de ampliación requeridos y los componentes esenciales que formarán parte del tablero de control.

Selección del sistema de automatización

La elección del sistema de automatización es un paso crítico en el diseño del sistema de control del Debobinador. Tras un análisis exhaustivo de los requisitos y funcionalidades del Debobinador, se ha optado por utilizar el sistema de automatización SIMATIC S7-1500 junto con la periferia descentralizada SIMATIC ET 200MP. Así, logramos cumplir las exigencias de rendimiento, flexibilidad y conectividad que buscamos.



Figura 1-2. Sistema de automatización Siemens.

SIMATIC S7-1500 es reconocido en la industria por su alto rendimiento, capacidad de procesamiento y flexibilidad en la automatización de procesos. Estos controladores modulares ofrecen una solución robusta y confiable para una amplia gama de aplicaciones industriales, incluyendo el control de sistemas complejos como el Debobinador.

Uno de los puntos clave que respaldan la elección del sistema SIMATIC S7-1500 para la aplicación en el Debobinador es su capacidad para manejar tanto tareas de control de alta velocidad como aplicaciones más complejas de manejo de datos y comunicación. La capacidad de procesamiento

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

de estos controladores permite la ejecución rápida de algoritmos de control y la gestión en tiempo real de múltiples señales provenientes de sensores y actuadores en el Debobinador.

Además, este sistema ofrece una amplia variedad de módulos de expansión que pueden ser adaptados a las necesidades específicas de la aplicación. En el caso del Debobinador, donde se requieren múltiples entradas/salidas digitales y analógicas, así como comunicación en red para la interconexión con otros componentes de la línea, estos módulos de expansión resultan esenciales para crear un sistema completo y funcional.

Otra característica que hace que el SIMATIC S7-1500 sea ideal para la aplicación en el Debobinador es su capacidad para integrar de manera efectiva sistemas de seguridad. La seguridad es un aspecto crucial en cualquier entorno industrial y, en el caso del Debobinador, donde hay riesgos potenciales relacionados con la velocidad de desenrollado y la interacción humana, la capacidad de implementar funciones de seguridad integradas en el PLC es fundamental para la protección del personal y los equipos.

En cuanto a la periferia descentralizada, SIMATIC ET 200MP es un sistema modular, escalable y de aplicación universal que ofrece las mismas ventajas que el SIMATIC S7-1500. Un controlador centralizado accede vía PROFINET o PROFIBUS a los módulos de periferia del ET 200MP, de la misma manera que accede a los módulos de periferia centralizados.

El SIMATIC S7-1500 está perfectamente integrado en los diferentes niveles de automatización con todos los estándares de comunicación.

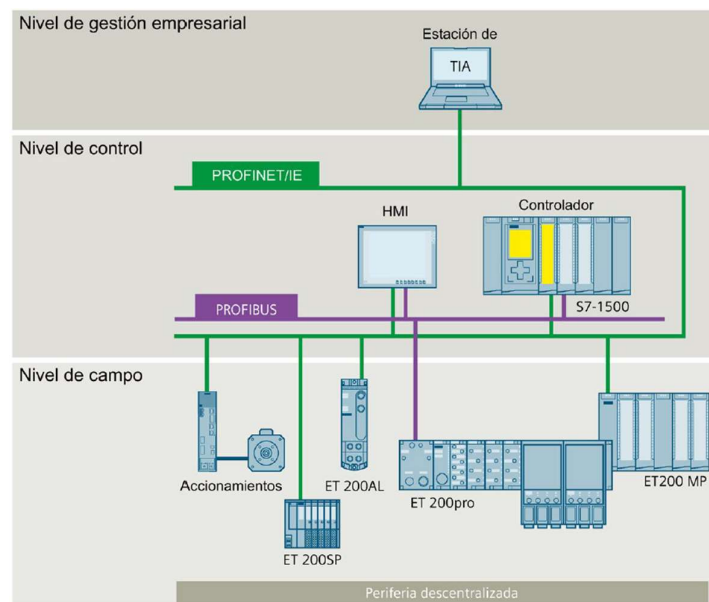


Figura 1-3. Estructura general: SIMATIC S7-1500 a nivel de dirección, nivel de control y nivel de campo

Estos sistemas admiten también el uso del sistema F SIMATIC Safety que permite implementar una seguridad integrada y garantizar procesos seguros mediante la perfecta integración de la seguridad en el SIMATIC S7-1500 y el ET 200MP.

Se adjunta el Anexo "Propiedades de funciones importantes de SIMATIC S7-1500 y ET 200MP" donde se muestran las características de rendimiento en síntesis para cada caso.

Ejemplo de aplicación

La imagen muestra un controlador S7-1500 conectado mediante PROFINET (línea verde) a un variador SINAMICS, a la periferia descentralizada ET 200MP y a un panel HMI. Esta conexión es muy similar a lo desarrollado en el presente proyecto.

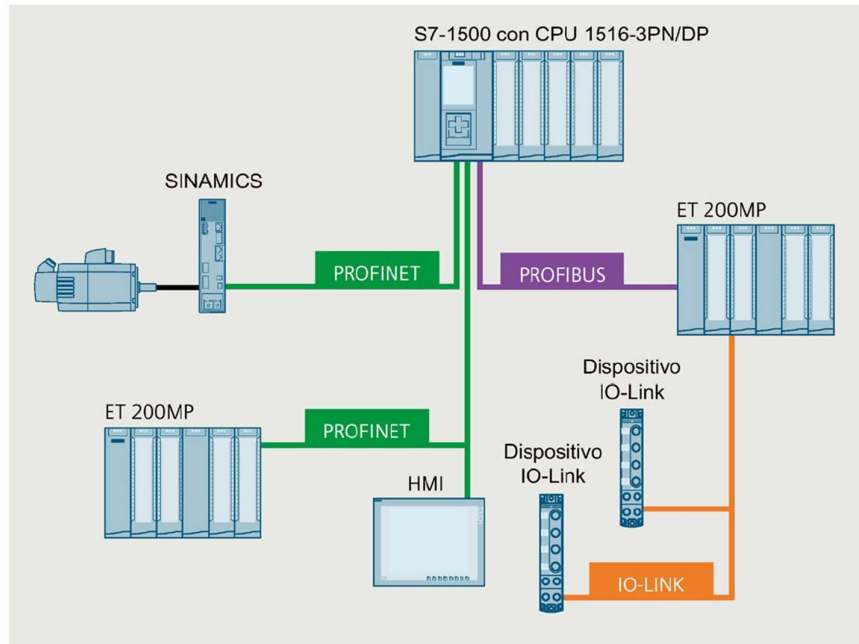


Figura 1-4. Configuración de instalación con SIMATIC S7-1500, Motion Control, periferia descentralizada y dispositivos IO-Link

Configuración e instalación

Sistema de automatización SIMATIC S7-1500

El sistema de automatización SIMATIC S7-1500 consta de los componentes siguientes:

- CPU
- Módulos de periferia digitales y analógicos
- Módulos de comunicaciones (PROFINET/Ethernet, PROFIBUS, etc.)
- Módulos tecnológicos (contaje, lectura de posición, etc.)
- Fuente de alimentación de carga
- Fuente de alimentación del sistema (opcional)

Este sistema se instala en un perfil soporte, que permite el montaje de hasta 32 módulos, incluyendo la CPU, la fuente de alimentación del sistema y 30 módulos de periferia. Los módulos se conectan entre si mediante conectores en forma de U.

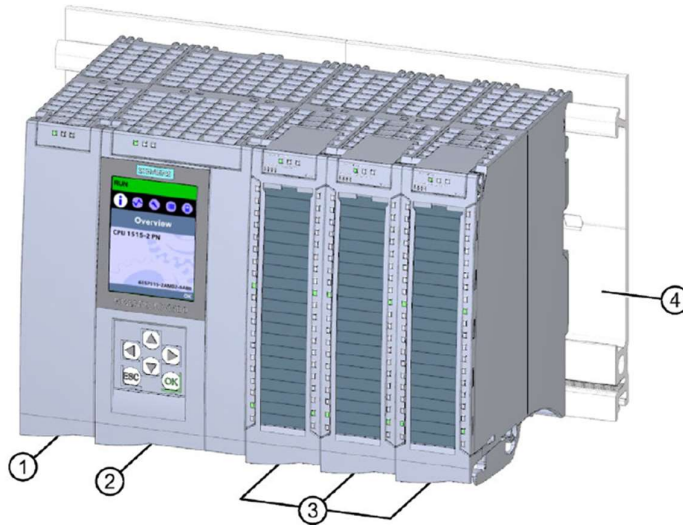


Figura 1-5. Ejemplo de configuración de un sistema de automatización S7-1500.

1. Fuente de alimentación
2. CPU
3. Módulo de periferia
4. Perfil soporte con perfil DIN integrado

Sistema de periferia descentralizada SIMATIC ET-200MP

El sistema de periferia descentralizada SIMATIC ET-200MP consta de los componentes siguientes:

- Módulo de interfaz (PROFINET o PROFIBUS)
- Módulos de periferia digitales y analógicos
- Módulos de comunicaciones (Punto a Punto)
- Módulos tecnológicos (contaje, lectura de posición, etc.)
- Fuente de alimentación del sistema (opcional)

El sistema se monta en un perfil soporte, igual que el del sistema SIMATIC S7-1500.



Figura 1-6. Ejemplo de configuración del ET 200MP con IM 155-5 PN ST.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

1. Módulo de interfaz
2. Módulos de periferia
3. Fuentes de alimentación del sistema
4. Perfil soporte con perfil DIN integrado

Sistema de automatización de seguridad (fail-safe)

Los sistemas de automatización de seguridad, conocidos como sistemas F, se utilizan en instalaciones con requisitos de seguridad elevados. Estos sistemas supervisan procesos que, en caso de desconexión, deben alcanzar un estado seguro de inmediato, sin representar ningún riesgo para las personas ni el medio ambiente.

Safety integrated

Safety Integrated es el sistema integral de seguridad de Siemens para la automatización y los accionamientos. Para las funciones de seguridad, se emplean tecnologías y sistemas de automatización probados, como el SIMATIC S7-1500 en este caso. Safety Integrated abarca la totalidad de la cadena de seguridad, desde los sensores y actuadores hasta los módulos de seguridad y los controladores, incluyendo la comunicación de seguridad a través de buses de campo estándar. Además de sus funciones convencionales, los accionamientos y controladores desempeñan funciones de seguridad clave.

Componentes

- o CPU



Figura 1-7. Controladores SIMATIC S7-1500.

Los controladores SIMATIC S7-1500 destacan por su gran capacidad de prestación gracias al bus de fondo de alto rendimiento, los breves tiempos de reacción entre bornes y el procesamiento de señales ultrarrápido.

SIMATIC S7-1500 dispone de una gran variedad de CPU integrables. Cada CPU se puede ampliar con módulos de periferia, comunicación y tecnológicos.

La figura siguiente muestra las posibilidades que se tienen con la CPU y brinda ayuda para la selección de esta.

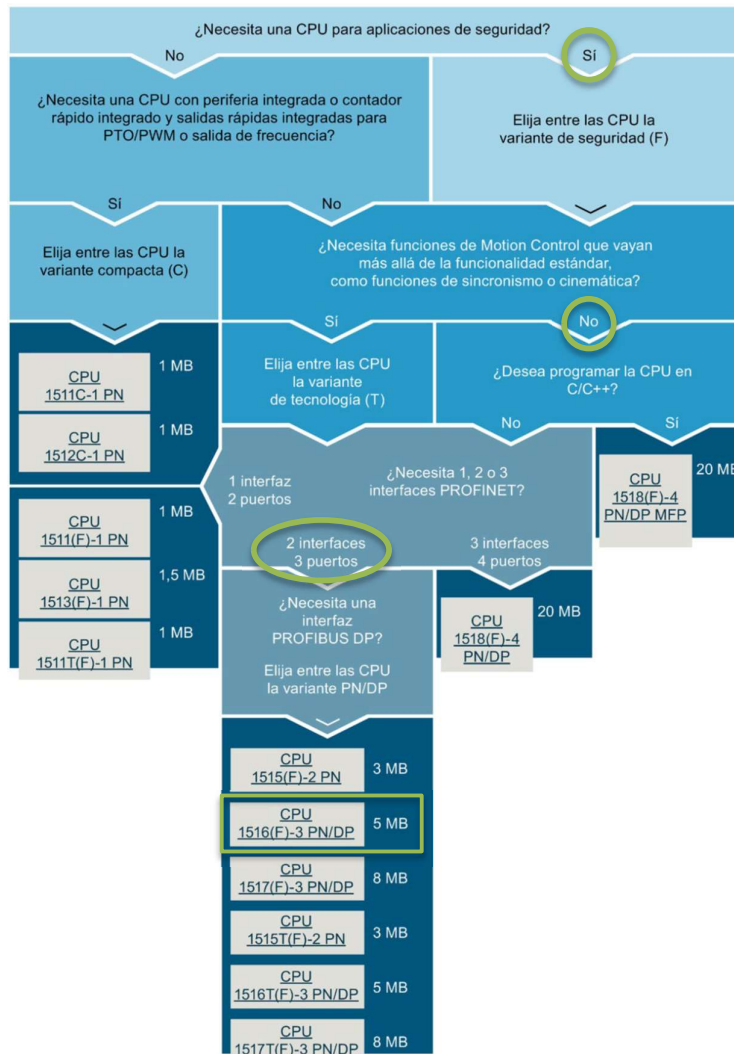


Figura 1-8. Ayuda para la selección de las CPU.

Utilizando el gráfico anterior y los requerimientos de nuestro sistema podemos obtener que, el modelo más conveniente para utilizar en la línea de corte transversal, y por ende en el Debobinador, es el S7-1516F cuyo número de identificación está dado por **6ES7516-3FP03-0AB0**. Esta elección se basa en diversas consideraciones técnicas y funcionales que hacen que este modelo sea adecuado para satisfacer las necesidades específicas de la línea de corte.

El PLC S7-1516F ofrece una combinación óptima de capacidades de procesamiento, cantidad de entradas/salidas y opciones de comunicación, lo que lo convierte en una elección sólida para una aplicación compleja como la línea de corte transversal. Sus características y beneficios clave incluyen:

- **Capacidad de Procesamiento:** El S7-1516F cuenta con un potente procesador multinúcleo que permite ejecutar con eficiencia algoritmos de control complejos y cálculos en tiempo real, lo que es esencial para asegurar la sincronización y precisión en los procesos de la línea de corte.
- **Entradas/Salidas y Flexibilidad:** Este modelo ofrece una amplia gama de opciones de expansión con módulos de entradas/salidas digitales y analógicas, así como módulos

especializados para funciones de seguridad. Dado que la línea de corte involucra múltiples sensores y actuadores, esta capacidad de expansión brinda la flexibilidad necesaria para adaptar el controlador a las necesidades específicas de la aplicación.

- **Comunicación y Red:** El S7-1516F está equipado con múltiples interfaces de comunicación, incluyendo PROFINET, Modbus TCP y opcionalmente PROFIBUS DP y RS485. Esto permite una interconexión eficiente con otros dispositivos en la línea de corte y la posibilidad de gestionar una comunicación fluida entre los diferentes componentes de la maquinaria.
- **Integración de Seguridad Failsafe:** La seguridad es primordial en aplicaciones industriales. El S7-1516F ofrece capacidades de seguridad integradas que permiten implementar funciones de seguridad avanzadas, como la supervisión de velocidad y la parada de emergencia, salvaguardando tanto a los operadores como a los equipos.
- **Durabilidad y Fiabilidad:** La robustez y la calidad de construcción son características inherentes a la línea de productos S7-1500. En un entorno industrial donde las condiciones pueden ser adversas, contar con un controlador confiable y resistente es crucial para mantener la operación continua.

Se adjunta en el Anexo “Hoja de datos - CPU 1516F - 3 PN/DP”, la hoja de características correspondiente al PLC Seleccionado.

En resumen, la elección del PLC S7-1516F de la familia de PLC Siemens S7-1500 para la aplicación en el Debobinador se basa en su alta capacidad de procesamiento, flexibilidad para la expansión de entradas/salidas y comunicación, integración de funciones de seguridad y su reconocido rendimiento en aplicaciones industriales exigentes. Estas características aseguran que el PLC pueda cumplir con los requisitos de control y supervisión del Debobinador, proporcionando un sistema confiable y eficiente para el proceso de producción.

o *Módulo de interfaz para la periferia del SIMATIC S7-1500*

El módulo de interfaz (IM) conecta la periferia del SIMATIC S7-1500 como sistema de periferia descentralizada ET 200MP con el controlador vía PROFINET o PROFIBUS. El módulo de interfaz intercambia datos entre el controlador de nivel superior y los módulos de periferia.

SIMATIC ET 200MP es un sistema de periferia modular y escalable con grado de protección IP 20. Ofrece las mismas ventajas de sistema que SIMATIC S7-1500. El diseño inteligente permite una configuración tanto centralizada como distribuida y es especialmente adecuado para su uso en plantas con grandes cantidades de estructuras. SIMATIC ET 200MP permite tiempos de ciclo de bus extremadamente cortos y tiempos de respuesta muy rápidos, incluso en estructuras de gran volumen.

El sistema de periferia descentralizada SIMATIC ET 200MP es especialmente sencillo de instalar, cablear y poner en marcha. Sus características y beneficios clave incluyen:

- Sistema modular de E/S con grado de protección IP20 para PROFINET o alternativamente para PROFIBUS.
- Dimensiones compactas y alta densidad de canales.
- Alto grado de facilidad de uso gracias a sus características de diseño.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- Amplia cartera de productos que incluye módulos de entradas y salidas digitales y analógicas, módulos tecnológicos, módulos de comunicación para IO-Link y comunicación punto a punto, así como módulos F hasta SIL3.
- Amplias funciones del sistema. Por ejemplo, el diagnóstico del sistema integrado en funcionamiento con S7-1500 y TIA Portal.

Para la línea de corte, y por ende para el debobinador, utilizaremos el módulo interfaz IM 155-5 PN HF para cumplir con los requerimientos de rendimiento y escalabilidad exigidos por la línea. El número de identificación de dicho modulo es **6ES7155-5AA00-0ACO**.

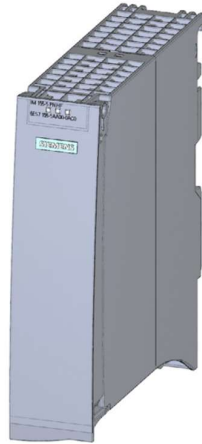


Figura 1-8. Módulo de interfaz 155-5 PN HF.

Se adjunta en el Anexo “Hoja de datos – IM155-5 PN HF”, la hoja de características correspondiente al módulo de interfaz seleccionado.

o Módulos de entradas y salidas

Los módulos de periferia constituyen la interfaz entre el controlador y el proceso. A través de los sensores y actuadores conectados, el contador captura el estado actual del proceso y dispara las reacciones correspondientes.

Estos módulos se dividen por clase de función. En nuestro caso utilizaremos los módulos “High Feature (HF)” debido a que poseen las siguientes características:

High Feature (HF)	Flexibilidad de uso Utilizados en aplicaciones complejas Parámetros por canal Diagnósticos por canal Funciones complementarias	En módulos analógicos: Máxima precisión (<0,1 %) Posible aislamiento galvánico entre canales
-------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------

SIMATIC S7-1500 ofrece una amplia selección de módulos de periferia. Con los componentes SIMATIC se puede elaborar una planificación modular y flexible en función de la complejidad de la instalación y los requerimientos técnicos y funcionales.

La figura siguiente brinda ayuda para la selección de los módulos a utilizar con base en la aplicación que necesitamos obtener.



Figura 1-9. Guía de selección de módulos de entradas y salidas.

En el caso del debobinador, solo necesitaremos módulos de entradas y salidas digitales. Las capacidades necesarias en términos de entradas o salidas que deberán cumplir estos módulos estarán dadas por:

Entradas Digitales:

1. Sensor de carga de bobina.
2. Sensor de posición de mandril.
3. Sensor de posición de snubber.
4. Sensor de posición de mesa de emboque.
5. Sensores de seguridad en puntos críticos.
6. Botón de parada de emergencia.
7. Señal de cuna de carga abajo.
8. Señal de aplanador preparado.
9. Señal de línea preparada.
10. Señal de central hidráulica lista.

Salidas Digitales:

1. Control de electroválvula Mandril.
2. Control de electroválvula Snubber.
3. Control de electroválvula mesa de emboque.
4. Señalización luminosa de estado en marcha.
5. Señalización luminosa de estado en alarma.
6. Señalización luminosa de estado en parada de emergencia.
7. Señalización sonora de estado de alarma o parada de emergencia.

Se escogerán módulos con mayor cantidad de entradas y salidas que las necesarias para poder realizar la incorporación del debobinador a la línea de corte completa y para dejar reservas en caso de querer agregar algún dispositivo o componente nuevo

- > SIMATIC S7-1500, DI 32x24VDC HF (6ES7521-1BL00-0AB0): Modulo de 32 entradas digitales.



Figura 1-10. Módulo de 32 entradas digitales.

- > SIMATIC S7-1500, DQ 32x24V DC/0.5A HF (6ES7522-1BL01-0AB0): Modulo de 32 salidas digitales.



Figura 1-11. Módulo de 32 salidas digitales.

o Comunicación

Para las comunicaciones y protocolos, se debe garantizar la interconexión entre el PLC ubicado en el tablero de control y los dispositivos separados, como el variador de frecuencia y la periferia descentralizada. Esto se logra mediante el protocolo PROFINET, que permite una comunicación rápida y confiable en tiempo real.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

La CPU escogida para nuestro sistema ya posee las interfaces integradas para la comunicación vía PROFINET o PROFIBUS. Debido a esto, no necesitaremos módulos de comunicación.

o *Funciones tecnológicas*

Existen potentes módulos tecnológicos que cumplen con distintas tareas tecnológica como contaje, medición y lectura de posición. Estos módulos poseen las siguientes ventajas:

- Registro rápido y exacto en el tiempo de eventos con resolución fina para mayor productividad y calidad del producto.
- Preprocesamiento de señales cercano al hardware para reducir el tiempo de contaje, medición y lectura de posición con distintos encóders.
- Fácil configuración y puesta en marcha de las funciones tecnológicas en STEP 7.
- Posibilidad de uso centralizado en SIMATIC S7-1500 y en el sistema de periferia descentralizada ET 200MP.
- Reacciones rápidas gracias a las diferentes alarmas de proceso.

Para nuestro caso, utilizaremos un módulo de contaje al que estarán conectados encóders que medirán la velocidad de la línea. El módulo a utilizar es el TM Count 2x24V (**6ES7550-1AA00-0AB0**).



Figura 1-12. Módulo contador TM Count.

o *Fuente de alimentación*

La fuente de alimentación del sistema de automatización se dimensiona según el tamaño de la instalación. Las CPU SIMATIC S7-1500 se alimentan mediante una fuente de alimentación de carga o una fuente de alimentación del sistema. Las CPU tienen una fuente de alimentación del sistema integrada que suministra al bus de fondo. En función de la configuración del sistema, la fuente de alimentación del sistema integrada se puede complementar con hasta dos módulos adicionales para alimentación del sistema. Si la instalación tiene un alto consumo de corriente (p. ej., grupos de carga E/S), se pueden conectar fuentes de alimentación de carga adicionales.

La tabla siguiente muestra las principales diferencias entre las dos fuentes de alimentación del sistema de automatización SIMATIC S7-1500:

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Fuente de alimentación	Descripción
De carga (PM)	<p>Suministra 24 V DC a los componentes de un sistema S7-1500, como CPU, fuente de alimentación del sistema (PS), circuitos de entradas/salidas de los módulos de E/S y, dado el caso, los sensores y actuadores. La fuente de alimentación de carga se puede montar directamente a la izquierda de la CPU (sin conexión con el bus de fondo).</p> <p>La alimentación de la CPU o del módulo de interfaz con 24 V DC es opcional si la tensión para el bus de fondo se suministra a través de una fuente de alimentación del sistema.</p>
Del sistema (PS)	<p>Proporciona exclusivamente la tensión del sistema necesaria internamente.</p> <p>Alimenta partes de la electrónica del módulo y los LED.</p> <p>Además, la fuente de alimentación PS 60W 24/48/60V DC HF respalda toda la memoria de trabajo remanente de la CPU en caso de un corte de alimentación.</p>

En nuestro caso, utilizaremos una fuente de alimentación del sistema. Dicha fuente alimenta la electrónica interna de los módulos S7-1500 a través del bus de fondo. Utilizaremos una fuente de 25 W para cubrir los requerimientos de nuestro sistema.

La fuente utilizada se denomina PS 25W 24V DC (**6ES7505-0KA00-0AB0**).



Figura 1-13. Fuente de alimentación PS.

Selección del Variador de Frecuencia

El debobinador cuenta con un motor SIMOTICS M-1PH8 (**1PH8224-1JC00-1BA2-Z-K10**). El mismo es un motor asíncrono compacto con las siguientes características:

		P_N [kW]	M_N [Nm]	I_N [A]	U_N [V]	f_N [Hz]	n_N [rpm]	M_{max} [Nm]	I_{max} [A]	n_{max} [rpm]	M_0 [Nm]	I_0 [A]	η	$\cos \phi$	l_{μ} [A]
Y	BLM/SLM 400V	55.0	750.0	136.0	310	23.8	700	1,760	285.0	4,500	750.0	136	0.925	0.820	67.0



Figura 1-14. Motor SIMOTICS del Debobinador.

Los motores SIMOTICS M-1PH8 son una generación de motores concebida para uso universal en instalaciones y maquinas con aplicaciones de control de movimiento.

Los motores han sido especialmente desarrollados para funcionar con las distintas familias de accionamientos SINAMICS. En función de las necesidades de regulación se ofrecen sistemas captadores apropiados para los motores; éstos captan la velocidad del motor y la posición indirecta.

Analizando los números que forman el código de identificación de nuestro motor, **1PH8224-1JC00-1BA2-Z-K10**, podemos obtener las características del mismo. Así, tenemos:

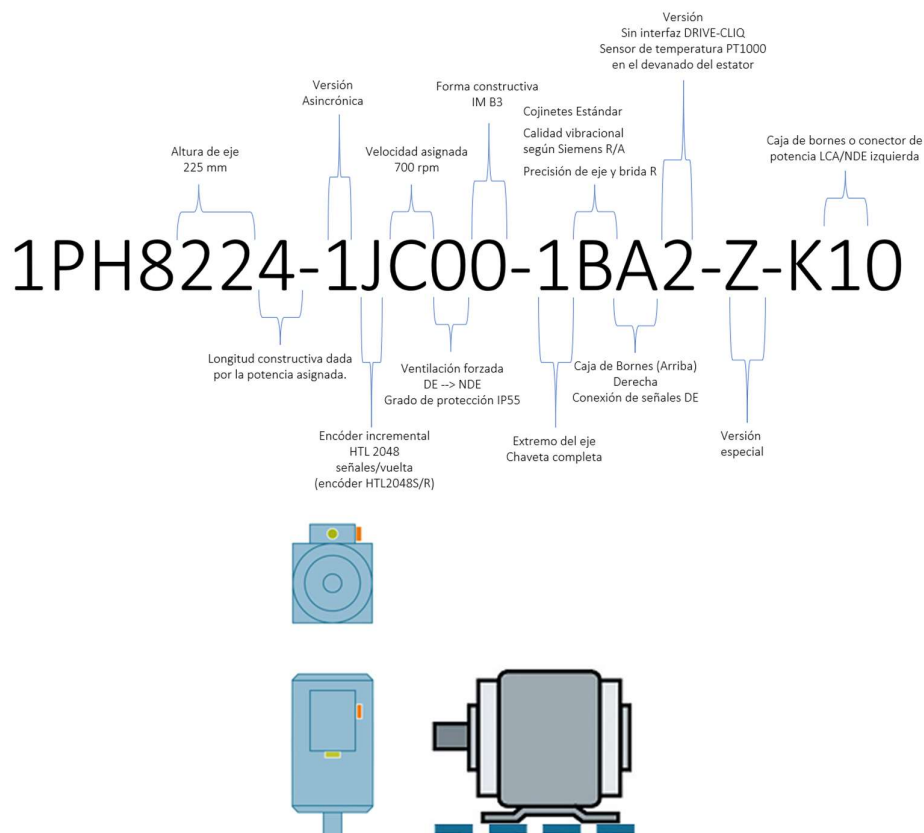


Figura 1-15. Características del motor del Debobinador.

Para accionar el motor antes descrito y cumplir con los requerimientos del Debobinador utilizaremos un convertidor de frecuencia de la familia G120.

La familia de convertidores SINAMICS G120 de Siemens representa una solución de vanguardia en el control de motores y la automatización de procesos industriales. Diseñada para abordar una amplia gama de aplicaciones, desde simples tareas de control hasta aplicaciones de alto rendimiento y exigencias técnicas complejas, esta familia de convertidores se destaca por su versatilidad, eficiencia y fiabilidad. Algunas de las características principales de estos convertidores son:

- *Versatilidad y Adaptabilidad*

Los convertidores SINAMICS G120 son conocidos por ser multifuncionales y modulares. Esto hace que posea una gran capacidad de adaptación a diversas aplicaciones industriales. Su estructura modular y el amplio rango de potencias (0,55 a 250 kW) poder escoger el convertidor ideal para muchas aplicaciones. Desde la industria manufacturera hasta la energía y la automatización de edificios, estos convertidores son altamente flexibles y se pueden configurar para satisfacer requisitos específicos de control. Esta versatilidad se traduce en la capacidad de implementar soluciones personalizadas que aborden desafíos únicos en una variedad de entornos.

- *Alto Rendimiento y Control Preciso*

Uno de los aspectos más destacados de la familia SINAMICS G120 es su capacidad para ofrecer un control preciso de motores, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y una calidad de producción mejorada. Los algoritmos de control avanzados permiten una regulación precisa de la velocidad y el par motor, lo que garantiza una operación suave y un control total sobre los procesos críticos. Además, estos convertidores ofrecen un arranque y parada suaves, lo que reduce el desgaste mecánico y prolonga la vida útil de los equipos.

- *Eficiencia Energética y Regeneración*

En consonancia con la demanda actual de soluciones energéticamente eficientes, los convertidores SINAMICS G120 incorporan características de ahorro de energía y regeneración. La capacidad de controlar la velocidad de los motores de manera precisa permite ajustar el consumo de energía según las necesidades del proceso, lo que conduce a un uso más eficiente de los recursos. Además, los modelos con capacidad de regeneración de energía pueden capturar y devolver la energía generada durante la frenada, reduciendo así los costos operativos y el impacto ambiental.

- *Conectividad y Diagnóstico Avanzado*

La familia SINAMICS G120 está diseñada pensando en la conectividad y la supervisión remota. La integración con sistemas de automatización y control es sencilla gracias a una variedad de interfaces de comunicación, lo que permite una integración perfecta en la infraestructura existente. Además, estos convertidores ofrecen capacidades de diagnóstico avanzado, lo que facilita la detección temprana de problemas y la implementación de acciones correctivas de manera proactiva, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado.

- *Seguridad Integrada y Conformidad Normativa*

Un aspecto crucial que distingue a la familia de convertidores SINAMICS G120 es su enfoque en la seguridad industrial. Estos convertidores están equipados con funciones de seguridad integrada, Safety Integrated, que ayudan a proteger tanto a los trabajadores como a los

equipos. Características como la parada segura y la supervisión de velocidad garantizan una respuesta rápida ante situaciones potencialmente peligrosas.

El sistema de convertidor modular SINAMICS G120 se compone de un Módulo de potencia, una Unidad de Control y un panel de mando opcional.

La Unidad de Control (CU) controla y monitorea el Módulo de Potencia (PM) y el motor conectado mediante múltiples tipos de control de circuito cerrado seleccionables. Admite comunicación con un controlador local o central y dispositivos de monitoreo. El PM alimenta el motor mediante tecnología IGBT de última generación con modulación de ancho de pulso para un funcionamiento del motor extremadamente confiable y flexible. Las funciones de protección completas proporcionan un alto nivel de protección para el PM y el motor.

o *Módulo de potencia (PM)*

Existen dos tipos de Módulos de Potencia, el PM240-2 y el PM250. Este último es el que nos interesa a nosotros. El PM250 es ideal para requisitos con retroalimentación regenerativa. Esto significa que cualquier energía de frenado se devuelve directamente al sistema de suministro (aplicaciones de cuatro cuadrantes; no se requiere un chopper de frenado).



Figura 1-16. Módulo de potencia con capacidad de regeneración de energía.

En el proceso de desenrollado de bobinas, es común que se genere energía durante ciertos momentos del ciclo de operación. Esta energía a menudo se disipa en forma de calor, lo que resulta en una pérdida de eficiencia energética y costos adicionales. El convertidor SINAMICS G120 con capacidad de regeneración de energía se convierte en una elección lógica para abordar este desafío. Permite capturar la energía generada durante la desaceleración de la bobina y devolverla a la red eléctrica, reduciendo la demanda de energía de la red y optimizando la eficiencia del proceso en su conjunto.

o *Unidad de control (CU)*

La Unidad de Control controla el motor según algún método de control seleccionado o puede parametrizarse para adaptarse a la aplicación que le queramos dar. Para SINAMICS G120 están disponibles varias CU con diferentes características. En particular, nos interesa la serie CU250S-2 la cual se presenta para la utilización en aplicaciones de alto rendimiento. Dicha CU es especialmente adecuada para variadores con requisitos de alta velocidad y precisión de par.



Figura 1-17. Unidad de control CU250S-2.

La unidad de control CU250S-2, en conjunto con el convertidor G120, ofrece un nivel de control sin precedentes sobre el proceso de debobinado. Esto resulta fundamental en la obtención de productos de alta calidad y precisión. La interfaz intuitiva de la CU 250S-2 permite a los operadores monitorear y ajustar parámetros clave en tiempo real, asegurando un funcionamiento estable y consistente. La flexibilidad de adaptar los parámetros de control a las cambiantes condiciones de producción es esencial en la industria actual, donde la versatilidad y la agilidad son primordiales.

- *Panel de operador*

Los paneles de operador, o de mando, son utilizados para aumentar aun mas las capacidades de manejo y control de los convertidos de frecuencia SINAMICS. Están disponibles varios modelos de paneles que permiten realizar distintas operaciones en el convertidor ya sea de manera inalámbrica o conectado directamente al convertidor. En nuestro caso, agregaremos un Panel de Operador inteligente SINAMICS IOP-2. Este panel se conecta directamente al convertidor permitiendo realizar operación local, monitoreo, configuración, diagnóstico y servicio.



Figura 1-18. Panel de operador inteligente IOP-2.

El panel de operador inteligente IOP-2 permite una configuración local rápida, un diagnóstico de fallos y un funcionamiento intuitivo de la serie de convertidores de frecuencia SINAMICS G y simplifica el ajuste de la configuración durante el funcionamiento. El panel de control admite a los usuarios con configuraciones seleccionables.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Hay tres métodos para utilizar el IOP-2: conectarlo directamente a la unidad de control del convertidor, montarlo en la puerta para operar fuera del gabinete de control y como unidad portátil IOP para operación por cable en ubicaciones de difícil acceso. Este módulo brinda los siguientes beneficios:

1. Pantalla en color de alto contraste con una variedad de opciones de visualización.
2. Rápida puesta en marcha en serie de los convertidores de frecuencia.
3. Configuración sencilla de una interfaz de bus de campo basada en Ethernet.
4. Acceso rápido a información del producto sobre el sistema de transmisión actual.
5. Contacto directo con el servicio de atención al cliente a través de la aplicación SIEMENS Industry Online Support.
6. Conexión sencilla a dispositivos móviles (p. ej., smartphones, tabletas) mediante código bidimensional (matriz de datos o código QR).

Finalmente, utilizando los datos del motor del Debobinador, teniendo en cuenta los requerimientos del mismo y sabiendo el convertidor a utilizar podemos usar la herramienta web de configuración de productos (<https://mall.industry.siemens.com/spice/cloudcm/configurator>) de Siemens para seleccionar el convertidor que mejor se adapte a nuestro sistema. La utilización de la Web es muy sencilla e intuitiva, cargando los siguientes datos obtendremos el número del convertidor que deseamos:

1. Familia de dispositivos a utilizar, en nuestro caso SINAMICS G120.
2. Características del motor que queremos accionar.
3. Parámetros del Módulo de Potencia. Es decir, si deseamos que posea recuperación de energía y la clase de filtro a utilizar. En nuestro caso, si queremos que posea recuperación de energía y la clase del filtro es A.
4. Tipo de comunicación. Para nosotros, PROFINET.
5. Función tecnológica ampliada. Funciones de posicionamiento con encóder incremental.
6. Tecnología de Seguridad Integrada. Distintas funciones de seguridad que queremos tener en el sistema. En nuestro caso, seleccionamos STO (Arranque involuntario), SS1 (Momento de inercia elevado) e IDE (Dirección de giro).
7. Control. En nuestro caso, CU250S-2.
8. Tarjeta de Memoria.

Con estos datos ya obtenemos la configuración y se brinda el número de los dispositivos necesarios. Obtenemos así:

- SINAMICS PM250-IP20-FSF-A-400V 55KW: **6SL3225-OBE35-5AA0.**
- SINAMICS CU250S-2 PN: **6SL3246-OBA22-1FA0.**

- SINAMICS G120 Multitarjeta V4.7 SP13: **6SL3054-7TG00-2BA0-Z**.

El panel de operador se pide por separado buscándolo por la página de Siemens. El número del mismo es **6SL3255-0AA00-4JA2**.

La elección del convertidor G120 y la unidad de control CU 250S-2 no solo se basa en sus capacidades individuales, sino también en su capacidad de integración en el sistema global de la línea de corte. La comunicación y sincronización con otros componentes, como la unidad de aplanado y corte transversal, son cruciales para un funcionamiento armonioso y una producción eficiente. La familia de productos SINAMICS de Siemens está diseñada para permitir esta integración sin problemas, lo que minimiza los puntos de falla potenciales y asegura la coherencia en la operación de toda la línea.

La selección de componentes en un proyecto de automatización industrial no debe tomarse a la ligera. En el caso del sistema de debobinado de la línea de corte transversal, la elección del convertidor SINAMICS G120 de 75 kW con capacidad de regeneración de energía y la unidad de control CU250S-2 se basa en la búsqueda de la máxima eficiencia, precisión y sostenibilidad. La integración de estas soluciones de Siemens no solo asegura el cumplimiento de los objetivos técnicos y operativos, sino que también sienta las bases para una operación continua y confiable en el futuro.

Selección de componentes del tablero de control

El tablero de control del debobinador se diseñará en forma de pupitre, proporcionando al operador un entorno ergonómico desde el cual podrá realizar observaciones, detecciones y acciones de manera segura, eficiente y confiable. Para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema, hemos optado por la utilización de los paneles de operador SIMATIC HMI, en particular utilizaremos los SIMATIC HMI Comfort Panels. Estos paneles ofrecen una interfaz intuitiva y avanzada que facilita la supervisión y el control de las operaciones del debobinador. Además, para mejorar la seguridad del proceso, se incorporarán luces de señalización que indicarán claramente el estado de la máquina en tiempo real. Asimismo, se integrará un botón de parada de emergencia de fácil acceso, lo que añadirá una capa adicional de protección y seguridad al sistema en caso de situaciones anómalas.

Elementos de Interfaz Intuitivos

Una interfaz intuitiva es crucial para la eficacia operativa y el monitoreo del debobinador. En este sentido, se incluirá una pantalla táctil de alta resolución que permita una visualización clara de los parámetros de operación, velocidades y estados de funcionamiento en tiempo real a la vez que permita la operación manual del sistema en caso de ser necesario. Esto no solo mejora la capacidad de respuesta, sino también la capacidad de diagnosticar y resolver problemas de manera eficiente.

Para realizar esta tarea utilizaremos los paneles *SIMATIC HMI Comfort* de Siemens. Esta generación de paneles de operador de alta gama es utilizada para aplicaciones sofisticadas. Estos potentes paneles fueron diseñados para implementar tareas de visualización más complejas a nivel de máquina. Ofrecen la máxima comodidad en aplicaciones de alta gama gracias a su máximo rendimiento, funcionalidad y numerosas interfaces integradas.

Gracias a su frontal de cristal capacitivo con tecnología multitáctil, los Comfort Paneles son tan cómodos de usar como un smartphone o una tableta. Los colores nítidos y el alto contraste mejoran la legibilidad y la facilidad de uso.

La familia SIMATIC HMI Comfort Panel ofrece una excelente y uniforme gama de funciones en todos los dispositivos. Esta completa familia de productos tiene el panel de operador adecuado para cada caso de uso. Elija entre seis paneles táctiles con tamaños de pantalla que van de 7 a 22 pulgadas, cinco paneles de teclas con tamaños de pantalla de 4 a 15 pulgadas y un dispositivo combinado de tecla/táctil con una pantalla de 4 pulgadas.



Figura 1-19. Paneles SIMATIC HMI Comfort.

En el contexto de la operación industrial moderna, la eficiencia y la facilidad de uso son factores críticos que impulsan la productividad y la calidad. Es aquí donde entran en juego los paneles de operador SIMATIC HMI, diseñados para proporcionar una interfaz intuitiva y potente entre los operadores y los sistemas de automatización. En el caso específico del debobinador, la elección de los paneles de operador SIMATIC HMI se alinea perfectamente con los requerimientos y objetivos del sistema, garantizando un control preciso y una interacción sin complicaciones.

En particular, los paneles SIMATIC HMI Comfort destacan por su alto rendimiento y funcionalidad, numerosas interfaces y un concepto sencillo de puesta en marcha y servicio. Estos paneles fueron diseñados para implementar tareas de visualización más complejas a nivel de máquina. Ofrecen la máxima comodidad en aplicaciones de alta gama gracias a su máximo rendimiento, funcionalidad y numerosas interfaces integradas.

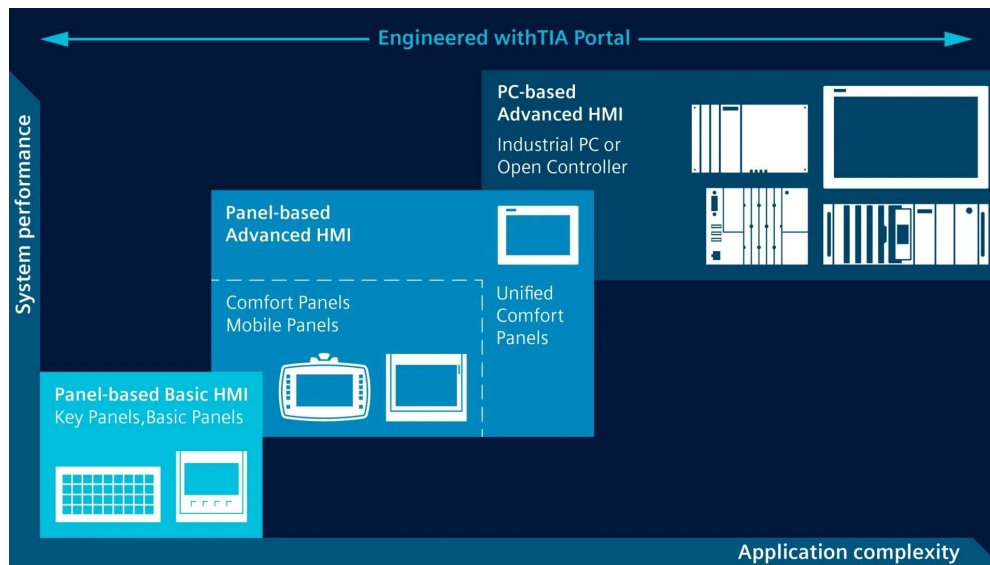


Figura 1-20. Opciones de paneles a utilizar con base en la complejidad de la aplicación.

Entonces, ¿Que hace que estos paneles sean tan especiales?

Son elegantes, extremadamente rápidos, flexibles en su uso y ofrecen infinitas posibilidades de visualización. A continuación, se presentan algunos puntos positivos a favor de los nuevos paneles SIMATIC HMI Comfort.

- **Componente integral del TIA.** Mayor productividad, gastos generales de ingeniería mínimos, reducción de los costos del ciclo de vida.
- **Reducción de costos de servicio y puesta en marcha.** Tiempos cortos de configuración y puesta en marcha gracias a una ingeniería eficiente y una descarga rápida de proyectos.
- **Pantallas regulables de 0 a 100 % mediante PROFlenergy,** mediante el proyecto HMI o mediante un controlador.
- **Seguridad de los datos** en caso de fallo de alimentación del dispositivo y de la SIMATIC HMI Memory Card.
- **Listo para la industria.** Adecuado para entornos industriales extremadamente hostiles gracias a aprobaciones ampliadas como ATEX 2/22 y aprobaciones marinas.

Finalmente, para la aplicación del debobinador utilizaremos un panel SIMATIC HMI TP1500 Comfort cuyo número de identificación es **6AV2124-0QC02-0AX1**.



Figura 1-21. Panel SIMATIC HMI TP1500 Comfort.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Este panel cuenta con manejo táctil, pantalla TFT panorámica de 15", interfaz PROFINET, interfaz MPI/PROFIBUS DP 24 MB de memoria de configuración, configurable a partir de WinCC Comfort V14 SP1.

Dispositivos de Seguridad Activa y Pasiva:

La seguridad de los trabajadores y los equipos es primordial. El tablero de control incorporará una serie de dispositivos de seguridad activa y pasiva, como botones de parada de emergencia de fácil acceso y luces indicadoras de estado. Estos elementos aseguran una respuesta inmediata ante cualquier situación anómala y permiten una desconexión segura del sistema en casos de emergencia.

Para este fin utilizaremos la gama de aparatos de mando y señalización *SIRIUS ACT* de Siemens.

SIRIUS ACT es un sistema modular de pulsadores y luces indicadoras para montaje en placa frontal y módulos eléctricos traseros. Se puede configurar de forma flexible según los requisitos específicos del cliente y cuenta con una amplia gama de accesorios. Para aplicaciones comunes, se ofrecen dispositivos completos. Estos dispositivos poseen las siguientes ventajas:

- **Rápida y fácil instalación.** Su innovador concepto de encaje hace que la tarea de instalar una unidad sea tan sencilla que se puede realizar con una sola mano. Reduciendo así el riesgo de una instalación incorrecta.
- **Robustos.** Están diseñados para trabajar bajo condiciones de humedad, polvo y hasta aceite, lo que los hace una opción fiable para una gran cantidad de aplicaciones.
- **Comunicación Flexible.** Además del cableado estándar, también pueden conectarse directamente al controlador a través de AS-Interface, IO-Link o PROFINET. La ventaja es una reducción de los gastos de cableado, menos fuentes de fallos y una mayor flexibilidad en caso de cambios.

Sumado a todo esto, los dispositivos SIRIUS ACT pueden ser conectados directamente a PROFINET/PROFIsafe. Esto trae aparejado grandes ventajas como reducción de cableado, posibilidades ampliadas de diagnóstico y parametrización gracias a la integración en el TIA Portal y la opción de utilizar Safety Integrated: Parada de Emergencia incorporada vía PROFIsafe.

Utilizaremos estos dispositivos para indicar en qué estado se encuentra el debobinador en tiempo real al funcionar en modo automático, esto brindará una fácil detección de fallas o alarmas en el funcionamiento, y realizar una parada de emergencia en caso de ser necesario. Para esto necesitaremos:

- » Un indicador luminoso amarillo que acuse una falla en el proceso. Para esto, utilizaremos una lámpara de señalización cuyo número de identificación es **3SU1152-6AA30-1AA0**.
- » Un indicador luminoso verde que acuse que el proceso se encuentra en marcha. Para esto, utilizaremos una lámpara de señalización cuyo número de identificación es **3SU1152-6AA40-1AA0**.
- » Un indicador luminoso rojo que acuse que la parada de emergencia se encuentra accionada. Para esto, utilizaremos una lámpara de señalización cuyo número de identificación es **3SU1152-6AA20-1AA0**.
- » Un botón de parada de emergencia con retención y liberación por giro. Para esto, utilizaremos un botón de parada de emergencias cuyo número de identificación es **3SU1150-1HB20-3PH0**.

Lista de materiales

Al comenzar el capítulo se propuso obtener la lista de dispositivos y sus respectivos números de identificación para poder identificar de manera rápida y sencilla cada uno de ellos a la hora de su aplicación. A continuación, se presenta dicha lista:

Dispositivo	Nombre de mercado	Número de identificación Siemens	Imagen
CPU o Controlador	SIMATIC S7-1516F	6ES7516-3FN02-0AB0	
Módulo de interfaz para periferia	IM 155-5 PN HF	6ES7155-5AA00-0AC0	
Módulo de entradas digitales	DI 32x24VDC HF	6ES7521-1BL00-0AB0	
Módulo de salidas digitales	DQ 32x24V DC/0.5A HF	6ES7522-1BL01-0AB0	

<p>Modulo tecnológico (Contador)</p>	<p>TM Count 2x24V</p>	<p>6ES7550-1AA00-0AB0</p>	
<p>Fuente de alimentación</p>	<p>PS 25W 24V DC</p>	<p>6ES7505-0KA00-0AB0</p>	
<p>Módulo de Potencia (PM)</p>	<p>SINAMICS PM250-IP20-FSF-A-400V 55KW</p>	<p>6SL3225-0BE35-5AA0</p>	
<p>Unidad de control (CU)</p>	<p>SINAMICS CU250S-2 PN</p>	<p>6SL3246-0BA22-1FA0</p>	
<p>Tarjeta de memoria</p>	<p>SINAMICS G120 Multitarjeta V4.7 SP13</p>	<p>6SL3054-7TG00-2BA0-Z</p>	

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Panel de operador	SINAMICS IOP-2	6SL3255-0AA00-4JA2	
Panel de control	SIMATIC HMI TP1500	6AV2124-0QC02-0AX1	
Lampara de señalización	Amarilla	3SU1152-6AA30-1AA0	
Lampara de señalización	Verde	3SU1152-6AA40-1AA0	
Lampara de señalización	Roja	3SU1152-6AA20-1AA0	
Pulsador de zeta	Parada de emergencia	3SU1150-1HB20-3PH0	

VI. **Capítulo II: Configuración y diseño del sistema de accionamiento en el TIA Portal.**

Introducción

En el desarrollo de sistemas de control y automatización, la configuración y el diseño del sistema de accionamiento juegan un papel fundamental en el logro de operaciones seguras, eficientes y precisas. En este capítulo, exploraremos en detalle ambos aspectos del sistema de accionamiento que permitirá luego, en conjunto con el sistema de control, el desenrollado controlado de bobinas de chapa metálica, un componente esencial en el proceso de fabricación de productos metálicos.

La correcta configuración y parametrización de los dispositivos que componen el sistema, como motores, reductores y elementos de transmisión, son pasos cruciales para garantizar un rendimiento óptimo. Para llevar a cabo esta tarea, utilizaremos el entorno de programación Siemens TIA Portal, una plataforma que ofrece herramientas poderosas, sumado a una interfaz amigable para el desarrollo y control de sistemas de automatización complejos.

En este capítulo, solo nos enfocaremos en la creación del proyecto dentro del TIA Portal, la declaración de los dispositivos a utilizar y la configuración de estos. Dejando así listo el programa para comenzar con la programación del control de nuestro sistema.

Para asegurar la integridad y el rendimiento del sistema, también examinaremos la importancia de verificar el programa en busca de errores y fallas. La compilación sin problemas y las pruebas exhaustivas en un entorno virtual son prácticas esenciales para detectar y corregir problemas antes de que el sistema se implemente en el entorno real de producción.

Este capítulo se sumerge en los aspectos técnicos de la configuración y el diseño del sistema de accionamiento, destacando su relevancia en el contexto más amplio de la línea de producción de productos metálicos. Cada paso de este proceso es esencial para garantizar que el desenrollado de bobinas se lleve a cabo de manera precisa y controlada, contribuyendo así a la eficiencia y la calidad en la fabricación industrial.

A lo largo de este capítulo, se explorarán los siguientes temas:

- **Creación del proyecto:** Nos enfocaremos en la creación de un nuevo proyecto en el entorno del TIA Portal, el cual servirá como base para la programación del control y monitoreo de nuestro sistema.
- **Definición de los dispositivos físicos:** Definiremos dentro del proyecto los dispositivos seleccionados en el capítulo anterior.
- **Parametrización de Componentes Virtuales:** Detallaremos el proceso de configuración y parametrización de los elementos virtuales que representan los componentes del sistema de accionamiento, como motores, reductores y elementos de transmisión. Esta etapa es fundamental para establecer las bases del sistema.

- **Verificar la correcta compilación del proyecto:** La verificación de la correcta compilación del proyecto en TIA Portal desempeña un papel fundamental en el desarrollo de sistemas de control automatizado. En primer lugar, permite detectar y corregir errores de sintaxis en el código del programa, garantizando así su funcionamiento sin fallos. Además, ayuda a identificar posibles incompatibilidades entre diferentes partes del programa o entre el programa y el hardware objetivo, lo que asegura su compatibilidad con los dispositivos específicos. Finalmente, la compilación prepara el programa para su descarga en el hardware de automatización, asegurando que esté listo y libre de errores antes de su implementación en el sistema real.

La importancia de estas etapas no puede subestimarse, ya que su influencia se extiende a lo largo de todo el proceso. La correcta configuración y parametrización de elementos virtuales en el programa TIA Portal establece las bases de un sistema robusto.

TIA Portal: Portal de automatización totalmente integrada

El TIA (Totally Integrated Automation) Portal, desarrollado por Siemens, aparece como el entorno de programación fundamental en la configuración y el diseño del sistema de accionamiento para el desenrollado controlado de bobinas de chapa metálica en este proyecto. Este software es ampliamente reconocido en la industria de la automatización debido a su enfoque integral y capacidades avanzadas, y desempeña un papel esencial en la consecución de los objetivos de eficiencia y precisión de este sistema.

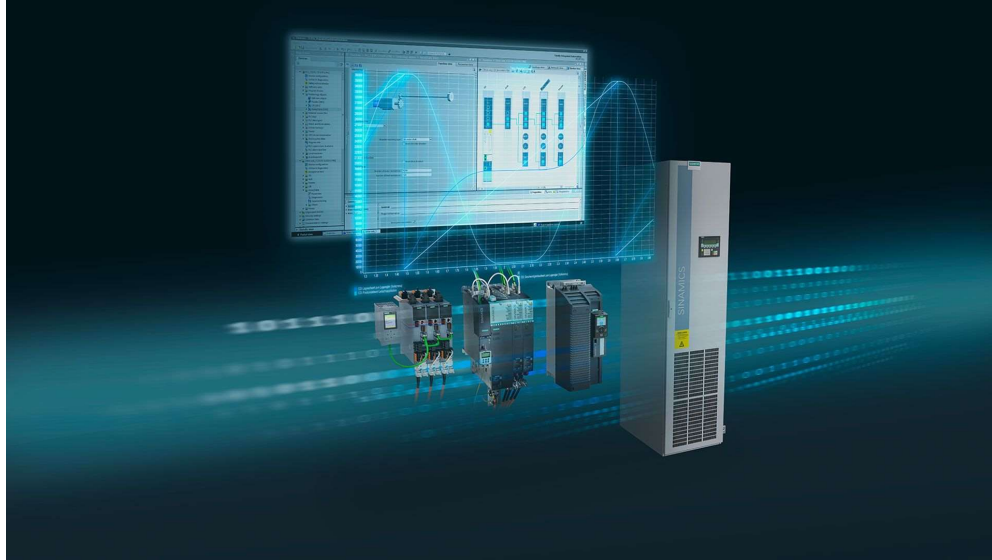


Figura 2-1. Entorno de Programación TIA Portal.

Esta herramienta proporciona acceso sin restricciones a la gama completa de servicios de automatización digitalizada de Siemens, desde la planificación digital y la ingeniería integrada hasta la operación transparente.

El TIA Portal es más que un marco de ingeniería. Es más flexible, más rápido y más productivo: las herramientas de simulación innovadoras, la ingeniería perfectamente integrada y el funcionamiento transparente de la planta funcionan perfectamente juntos en TIA Portal. Las nuevas opciones benefician a los integradores de sistemas y fabricantes de máquinas, así como a los operadores de plantas, lo que convierte a TIA Portal en su puerta de entrada perfecta a la automatización en la empresa digital.

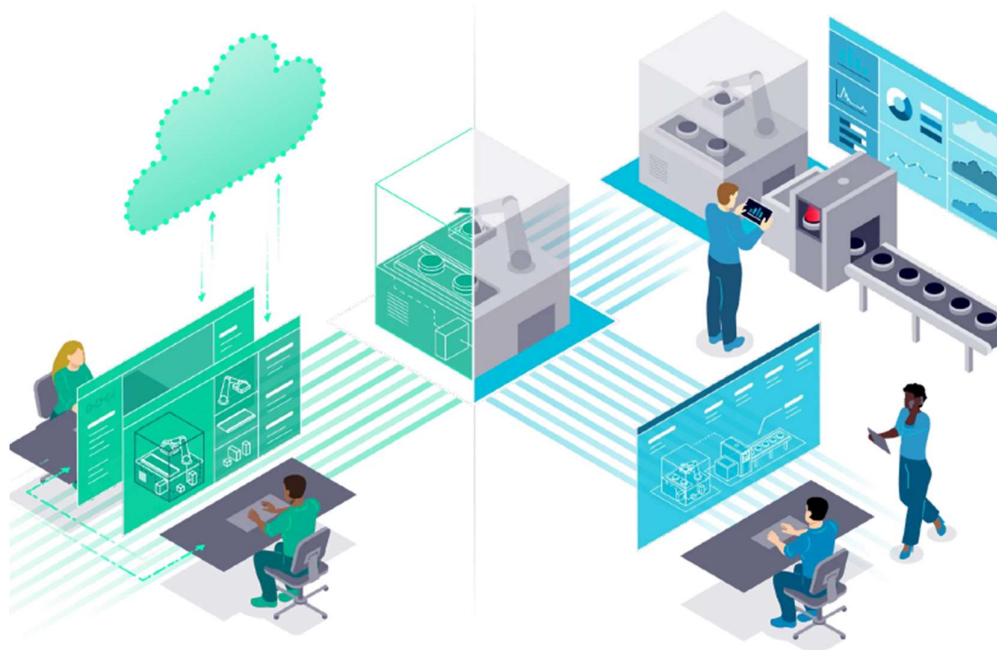


Figura 2-2. Sistemas integrados por el TIA Portal.

La utilización del software TIA Portal proporciona las siguientes ventajas:

- *Flujo de trabajo digital:* Aumenta la flexibilidad y el trabajo de forma abierta, virtual y en red.

Un flujo de trabajo digital le permite utilizar representaciones virtuales de máquinas y sistemas. Puede usarlos para simular y probar cada aspecto antes de construir algo real. Este "gemelo digital" también está conectado a la TI operativa y a la nube para lograr una mayor flexibilidad y, en última instancia, dar como resultado productos de mayor calidad.

- *Ingeniería integrada:* El corazón de la automatización eficiente.

Todos los componentes de automatización importantes están integrados en el TIA Portal. Esto significa que se puede programar todo, desde controladores hasta gestión de energía. Una base de datos coherente y bibliotecas con funciones utilizadas con frecuencia hacen que la ingeniería sea aún más rápida y sencilla.

- *Operación transparente:* Mejor visión general de los procesos de producción, el estado de la máquina y el consumo de energía.

A medida que aumenta la competencia global, es esencial saber exactamente qué sucede en una máquina. Un funcionamiento transparente significa que puede tomar las decisiones correctas gracias a datos consistentes y análisis en profundidad. Esto también le ayuda a mejorar la eficiencia energética, un factor cada vez más importante para aumentar su competitividad.

Software en TIA Portal

Con TIA Portal no sólo integra el software básico (STEP 7, WinCC, SINAMICS Startdrive, SIMOCODE ES y SIMOTION SCOUT TIA), sino que también añades funcionalidades como la opción multiusuario, TIA Portal Multiuser Engineering, y la administración de energía, SIMATIC Energy Suite, en una misma interfase. Por eso, TIA Portal ofrece todo lo que necesita para una ingeniería de extremo a extremo, tanto ahora como en el futuro.



Figura 2-3. Software integrado en TIA Portal.

Hardware en el TIA Portal

El TIA Portal permite integrar todos los componentes clave de tu proyecto de automatización: control, HMI, motores, periféricos descentralizados, administración de motores y ahora control de movimiento y distribución de energía.

Totally Integrated Automation (TIA) ofrece desarrollo de automatización inteligente, conceptos de máquinas flexibles, operación transparente y soluciones sostenibles que permiten el acceso a datos para calcular y optimizar la huella de carbono del producto.



Figura 2-4. Hardware en TIA Portal.

Características Clave de TIA Portal

- *Unificación de Plataformas:* Uno de los atributos más destacados del TIA Portal es su capacidad para unificar múltiples componentes de automatización en una sola plataforma. Esto incluye la programación de controladores lógicos programables (PLCs), configuración de sistemas de accionamiento, desarrollo de interfaces de operador (HMI) y supervisión de sistemas de seguridad. Esta integración simplifica significativamente el proceso de diseño y puesta en marcha al ofrecer una interfaz coherente y un flujo de trabajo fluido para todos los aspectos del proyecto.
- *Compatibilidad con una Amplia Gama de Dispositivos:* TIA Portal es compatible con una amplia variedad de dispositivos de automatización, lo que lo convierte en una solución versátil para proyectos industriales diversos. Esto incluye controladores PLC de Siemens, dispositivos de interfaz de operador (HMI), sistemas de accionamiento, sensores y más. La capacidad de integrar fácilmente estos dispositivos simplifica la configuración y la comunicación entre componentes.
- *Amplias Opciones de Comunicación:* TIA Portal ofrece capacidades de comunicación avanzadas, lo que es esencial para la integración de sistemas complejos. Con soporte para estándares como PROFINET y PROFIBUS, facilita la interconexión de dispositivos y la transferencia de datos en tiempo real. Esto es especialmente relevante en el contexto de este proyecto, donde la comunicación eficiente es esencial para el desenrollado controlado de bobinas.

En resumen, el TIA Portal no solo proporciona las herramientas esenciales para la configuración y el diseño del sistema de accionamiento, sino que también ofrece una plataforma integral que simplifica la gestión de proyectos complejos de automatización. Sus características clave, como la unificación de plataformas y el entorno de desarrollo unificado, lo convierten en la elección idónea

para garantizar la eficiencia y la precisión en la operación del sistema de desenrollado de bobinas de chapa metálica.

Configuración y Parametrización de Dispositivos en TIA Portal

Una fase fundamental en el diseño de nuestro sistema de accionamiento para el desenrollado controlado de bobinas de chapa metálica implica la configuración y parametrización de los dispositivos clave que compondrán este sistema. Para llevar a cabo esta tarea crítica, el TIA Portal aparece como una herramienta esencial.

En esta sección, se detallará el proceso de configuración y parametrización de dispositivos dentro del TIA Portal. Esto abarca la definición de los dispositivos físicos que se utilizarán en el sistema de accionamiento y la configuración de sus parámetros para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro.

Una de las ventajas distintivas del TIA Portal es su capacidad para integrar todos los componentes clave de automatización en una única plataforma unificada. Esto significa que no solo se pueden programar los controladores, sino que también se pueden configurar otros dispositivos esenciales, como motores, sensores y actuadores, desde la misma interfaz. Además, el TIA Portal proporciona una base de datos coherente y bibliotecas de funciones utilizadas con frecuencia, lo que agiliza el proceso de configuración y parametrización.

Como primera acción, la creación del archivo de proyecto en el TIA Portal sienta las bases para la configuración y parametrización de dispositivos. Este archivo servirá como el espacio de trabajo digital en el cual definiremos los componentes físicos y estableceremos sus parámetros. La ventaja de esta aproximación radica en su capacidad para representar virtualmente estos componentes, lo que facilita la vista previa digital antes de su implementación física.

> Creación del Proyecto

Para comenzar a trabajar dentro del TIA Portal, debemos primero crear el “Proyecto”, que es el archivo del programa, sobre el cual trabajaremos de ahora en adelante. Entonces:

1. Iniciar el TIA Portal.



Figura 2-5. Icono Acceso Directo del TIA Portal.

- Una vez abierto el programa se muestra la pantalla que se ve en la imagen debajo. En ella, debemos seleccionar la opción “Create new project” para crear nuestro proyecto.

Una vez seleccionada esta opción veremos la pantalla que muestra la imagen siguiente. En la misma, se observa el nombre de nuestro proyecto, “Debobinador”, y una breve descripción del mismo. Luego de insertar esta información, debemos presionar el botón “Create” que se ve debajo a la derecha.

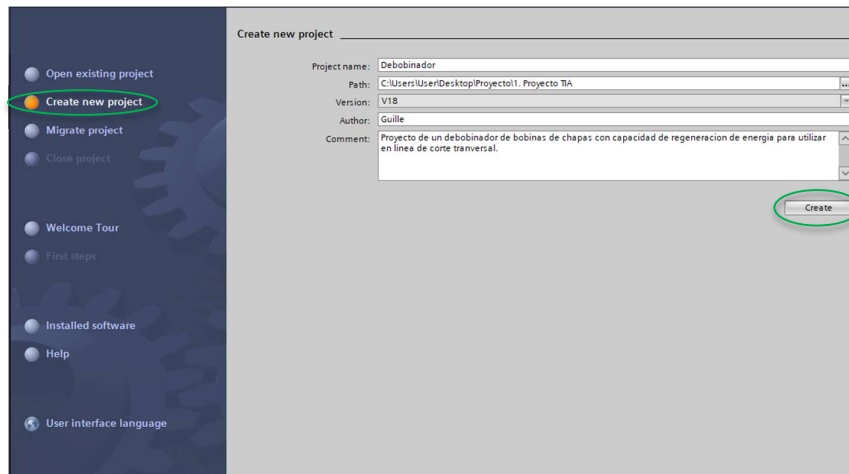


Figura 2-6. Pantalla de creación de nuevo proyecto.

- Luego de esto, nuestro proyecto ya estará creado. La pantalla que se muestra ahora es la denominada “First steps” donde veremos los primeros pasos a dar para comenzar con la configuración y parametrización de los dispositivos. Utilizaremos la imagen de esta pantalla como una guía para los pasos siguientes.

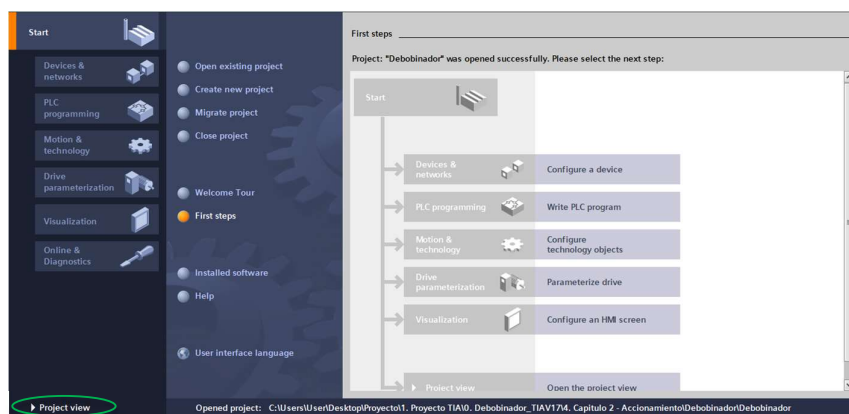


Figura 2-7. Pantalla de primeros pasos.

En nuestro caso, ahora seleccionaremos la opción de “Project view”, que se encuentra debajo a la izquierda, y trabajaremos con dicha interfaz.

La imagen debajo muestra la interfaz del proyecto sobre la cual trabajaremos a partir de ahora.

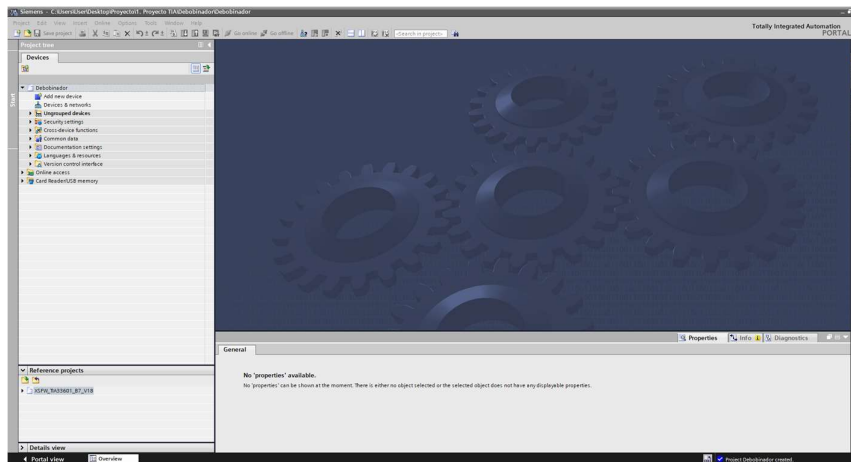


Figura 2-8. Pantalla de vista del proyecto.

En lo que sigue, utilizaremos los pasos mostrados (Imagen “2-7”) para ordenar la creación y desarrollo de nuestro programa. Los pasos a seguir son los siguientes:

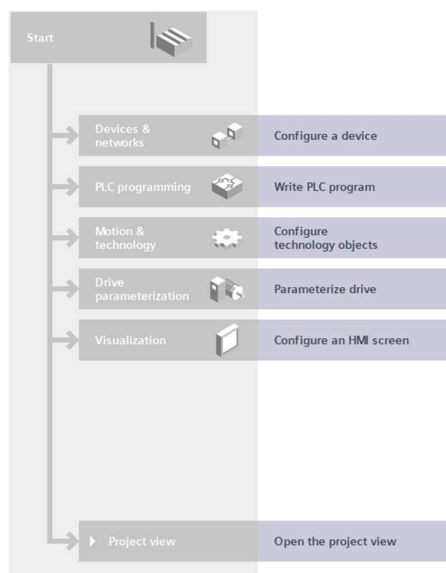


Figura 2-9. Pantalla primeros pasos.

> **Declaración y configuración de los dispositivos físicos.**

El primer paso será la declaración y configuración de los dispositivos físicos que utilizaremos para nuestro proyecto.



Para ello, realizaremos lo siguiente:

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

1. Dentro de la pantalla que habíamos visto anteriormente (Figura 2.8) seleccionamos la opción “Devices & networks”. Aquí veremos que aparece una nueva pantalla donde se observa una barra lateral a la derecha que nos permite seleccionar los dispositivos que queremos agregar al proyecto.

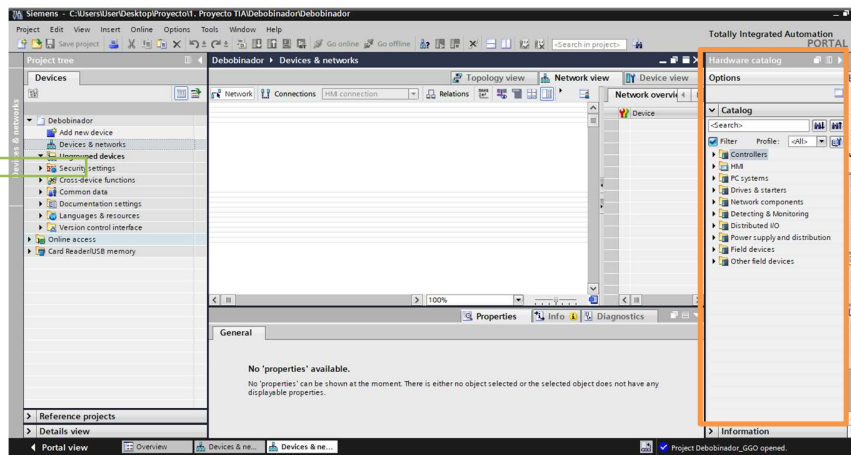


Figura 2-10. Pantalla de redes y dispositivos.

2. Pasamos ahora a seleccionar los dispositivos que definimos en el capítulo 1.

Dado a que ya poseemos los códigos de Siemens de cada producto, lo que haremos es buscar estos códigos en la parte que dice “Search”, seleccionar los mismos y agregarlos al proyecto. La lista de dispositivos a configurar es la siguiente:

Dispositivo	Nombre de mercado	Número de identificación Siemens
CPU o Controlador	SIMATIC S7-1516F	6ES7 516-3FN02-0AB0
Módulo de interfaz para periferia	IM 155-5 PN HF	6ES7155-5AA00-0AC0
Módulo de entradas digitales	DI 32x24VDC HF	6ES7521-1BL00-0AB0
Módulo de salidas digitales	DQ 32x24V DC/0.5A HF	6ES7522-1BL01-0AB0
Modulo tecnológico (Contador)	TM Count 2x24V	6ES7550-1AA00-0AB0
Fuente de alimentación	PS 25W 24V DC	6ES7505-0KA00-0AB0
Módulo de Potencia (PM)	SINAMICS PM250-IP20-FSF-A-400V 55KW	6SL3225-0BE35-5AA0
Unidad de control (CU)	SINAMICS CU250S-2 PN	6SL3246-0BA22-1FA0
Panel de control	SIMATIC HMI MTP1500 Unified Comfort	6AV2128-3QB06-0AX1

Tabla 2-1. Tabla de dispositivos.

A continuación, se muestra el proceso de selección de los dispositivos de nuestro proyecto.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- 1) Desde la pestaña **Network view** vamos a seleccionar los dispositivos principales (PLC, Remota IM, CU, Panel HMI).
- 2) Desde la pestaña **Device view**, para cada dispositivo anterior, seleccionamos sus dispositivos periféricos (Fuente, Contador, Modulo I/O, PM).

Entonces, una vez seleccionados los dispositivos principales, tendremos:

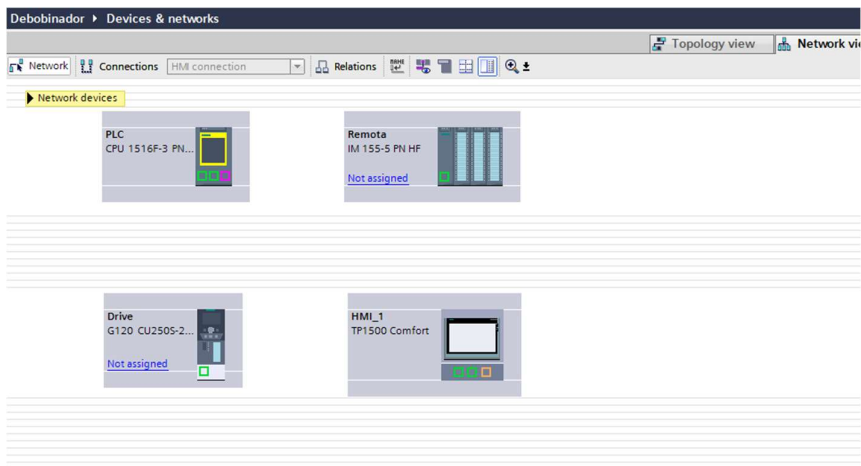


Figura 2-11. Pantalla de vista de red.

Ahora, ya seleccionados los dispositivos principales, podemos hacer doble clic sobre cada uno y entrar a la vista **Device view** y desde esta ventana añadiremos los periféricos correspondientes a cada dispositivo. Debajo se muestran imágenes de cómo se ven estas vistas para cada dispositivo.

- o PLC: Fuente de Alimentación

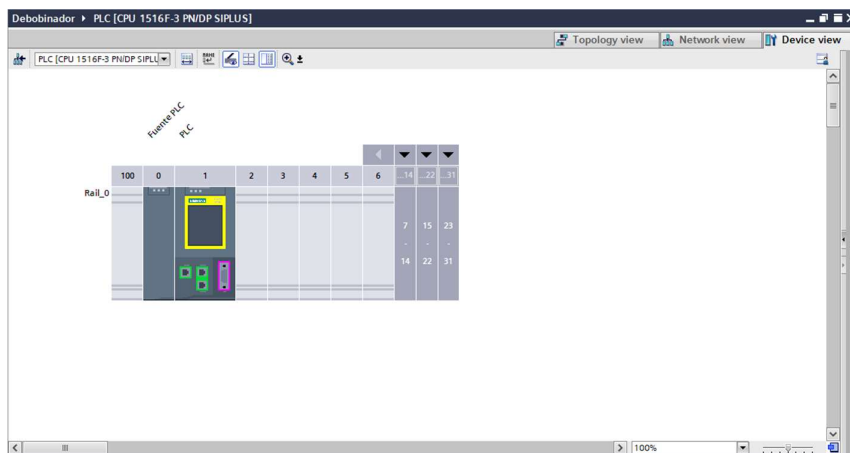


Figura 2-12. Pantalla de vista de dispositivo: PLC.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- Remota: Fuente de alimentación + Dispositivos I/O + Contador

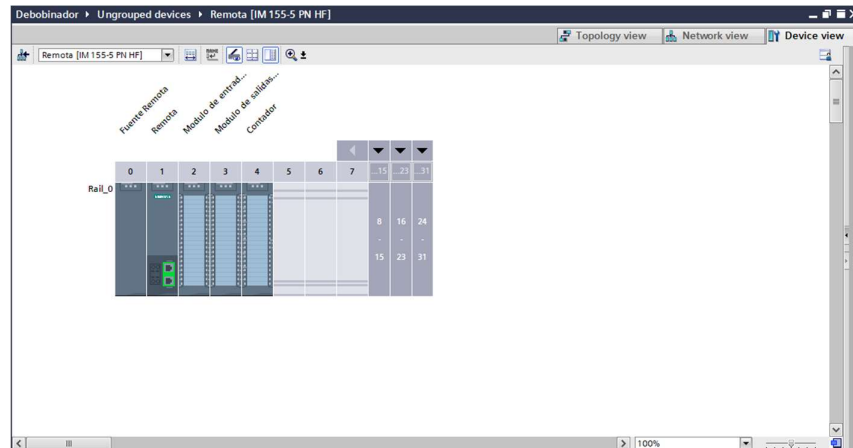


Figura 2-13. Pantalla de vista de dispositivo: Remota IM.

- CU: PM

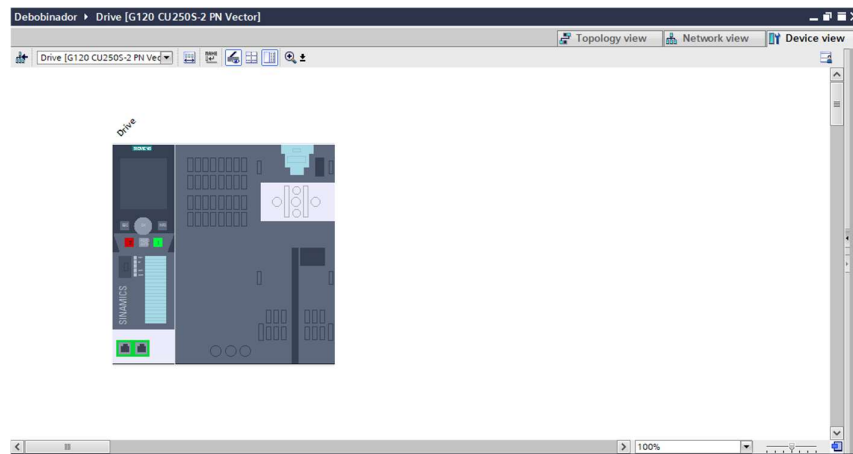


Figura 2-14. Pantalla de vista de dispositivo: CU.

- HMI

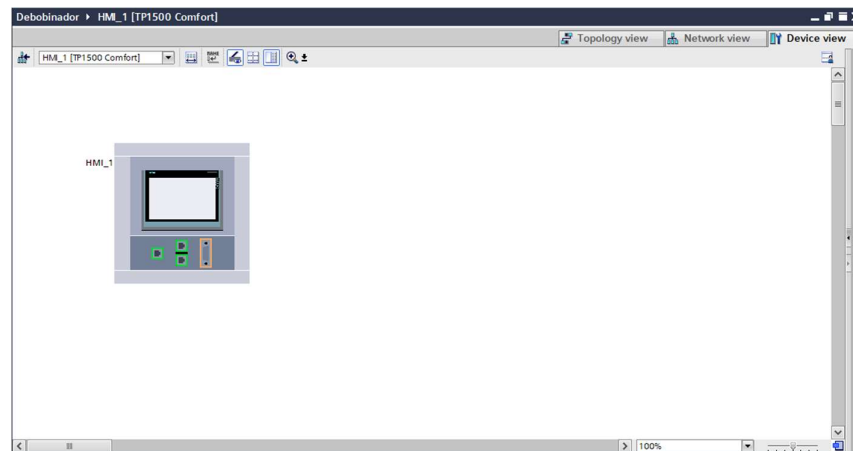


Figura 2-15. Pantalla de vista de dispositivo: Panel HMI.

- Una vez que tenemos seleccionados todos los dispositivos podemos definir la topología y la red de comunicación PROFINET que vamos a utilizar. Esto se realiza simplemente uniendo los puertos PROFINET de cada dispositivo como uno desee.

Nota: Es muy importante que la topología del proyecto coincida con la topología real de la instalación sino el software acusara un error cuando se quiera cargar el proyecto al sistema físico.

- Topología del proyecto

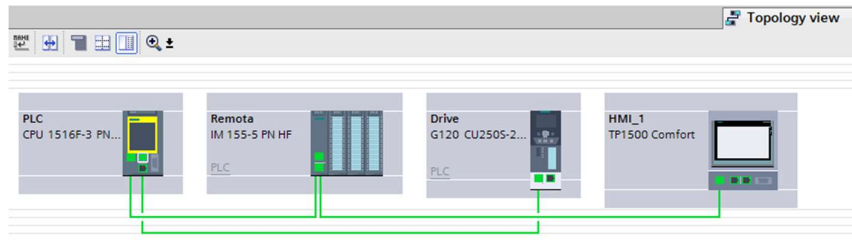


Figura 2-16. Pantalla de vista de la topología del proyecto.

- Red PROFINET del proyecto

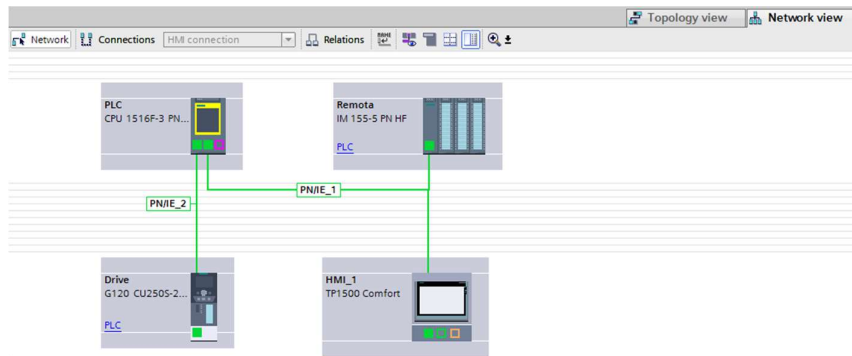


Figura 2-17. Pantalla de vista de la red PROFINET del proyecto.

Luego, asignamos a cada puerto ethernet la IP correspondiente. Esto puede hacerse desde la vista de dispositivo para cada caso. En nuestro caso, los siguientes números de IP son:

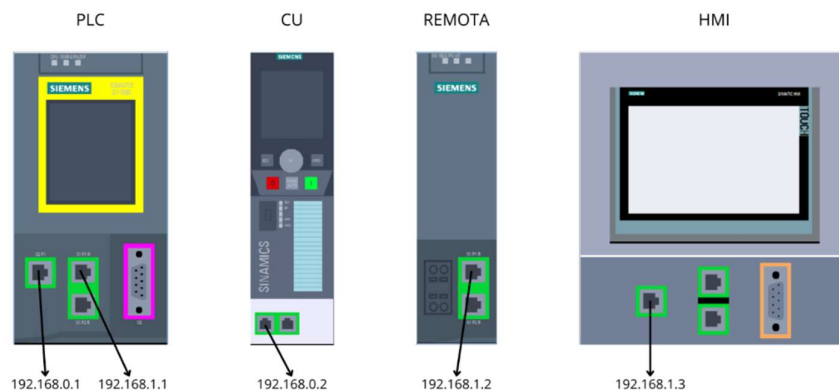


Figura 2-18. Direcciones IP de cada dispositivo.

Establecimiento de Parámetros

Una vez que se han definido los dispositivos físicos, el siguiente paso es establecer sus parámetros de funcionamiento. Esto incluye configurar las especificaciones de los motores, como la velocidad, la aceleración y los límites de carga, para garantizar que el desenrollado se realice de manera controlada y precisa. La flexibilidad del TIA Portal permite una parametrización detallada y específica, adaptada a las necesidades precisas de nuestro sistema.

La configuración y parametrización precisa de estos dispositivos no solo asegura un rendimiento óptimo sino también una operación segura. Cualquier error en esta etapa podría tener repercusiones significativas en la calidad del producto final y la integridad del sistema en su conjunto.

En resumen, la capacidad del TIA Portal para configurar y parametrizar dispositivos de manera eficiente y precisa desempeña un papel crucial en el diseño de nuestro sistema de accionamiento. A través de esta sección, se explorará en detalle cómo aprovechamos esta herramienta para lograr un funcionamiento controlado y eficiente en nuestro proyecto de desenrollado de bobinas de chapa metálica.

Commissioning o Puesta en Servicio

Previo a realizar la programación del PLC debemos realizar la configuración de nuestro variador. Para ello, utilizaremos la función de “Commissioning” o “Puesta en Servicio” que nos guiará por una serie de pasos para realizar esta configuración.

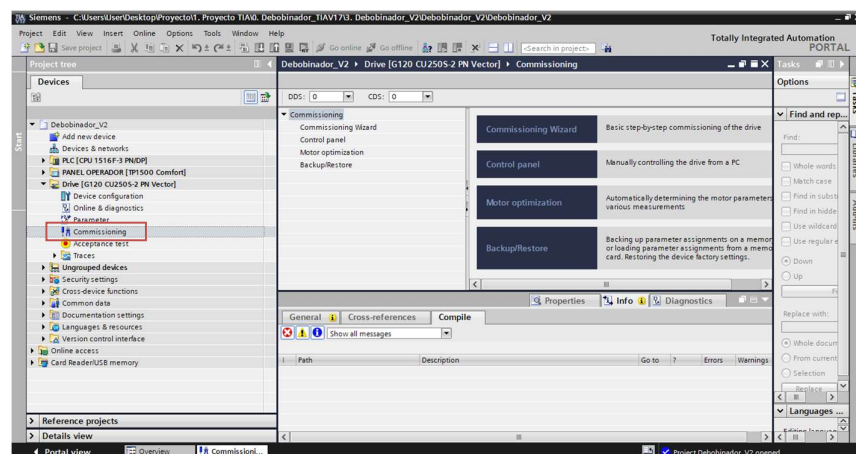


Figura 2-19. Pantalla de Commissioning.

Los pasos a configurar son los siguientes:

1. *Especificación del Setpoint*: En este caso, se especifica el punto de ajuste. En nuestro sistema, el PLC transmite los valores de ajuste al Drive, y la rampa de accionamiento del motor la creará este último por lo que seleccionamos la segunda opción que se muestra debajo.

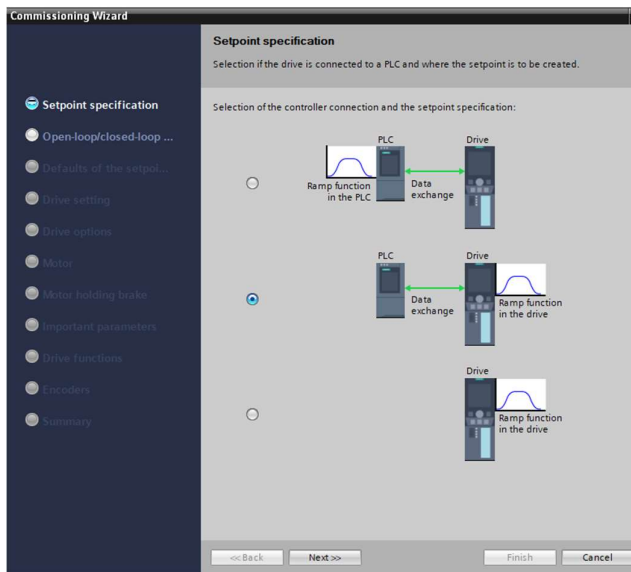


Figura 2-20. Commissioning: Especificación del Set Point.

- II. *Tipo de Control Lazo Abierto/Lazo Cerrado:* Aquí se selecciona el tipo de control a utilizar. Para nuestro sistema, utilizaremos un control U/f de característica lineal que se detallara más adelante

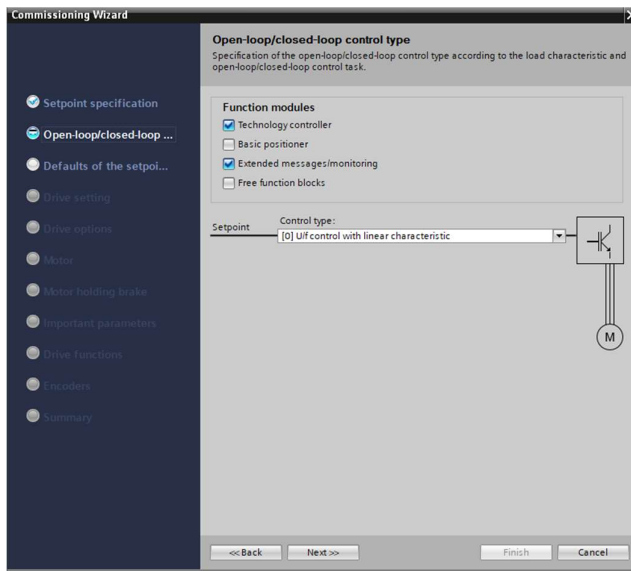


Figura 2-21. Commissioning: Tipo de Control.

- III. Valores predeterminados de los setpoints/fuentes de comando: Seleccionamos aquí el tipo de interconexión para las entradas/salidas. En nuestro caso, para la comunicación se utiliza el Telegrama Estándar 1, PZD - 2/2.

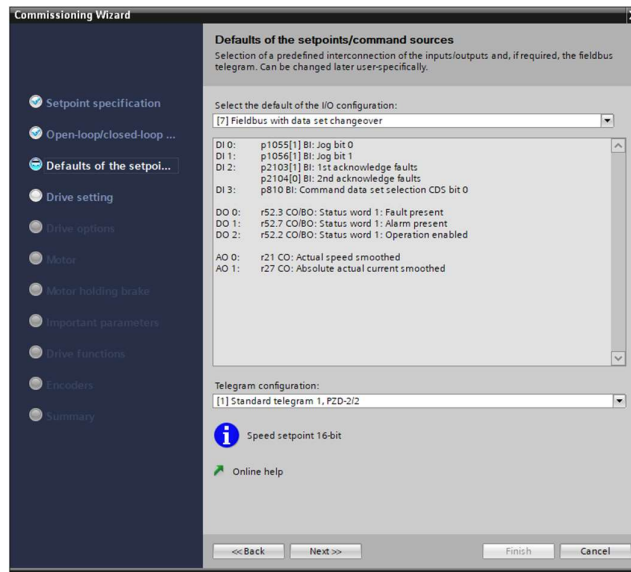


Figura 2-22. Commissioning: Valores predeterminados.

Los telegramas PROFIdrive se utilizan para transferir consignas y valores reales, palabras de control y estado, y otros parámetros entre el controlador y el accionamiento/codificador.

Cuando se utiliza un telegrama PROFIdrive para la conexión, los accionamientos y codificadores se manipulan y encienden de acuerdo con el perfil PROFIdrive.

El Telegrama Estándar 1 se compone de una Palabra de Control STW1 y una Palabra de Estado ZSW1. Las cuales contienen 16 bits para el setpoint de velocidad (NSET) y 16 bits de velocidad actual (NACT).

Standard telegram 1

57 bit representation (drive)	Meaning
STW1 1.0 (bit 0)	OFF1 / ON (pulse enable possible)
STW1 1.1 (bit 1)	OFF2 / ON (enable possible)
STW1 1.2 (bit 2)	OFF3 / ON (enable possible)
STW1 1.3 (bit 3)	Enable or disable operation
STW1 1.4 (bit 4)	Ramp-function generator enable
STW1 1.5 (bit 5)	Continue ramp-function generator
STW1 1.6 (bit 6)	Speed setpoint enable
STW1 1.7 (bit 7)	Acknowledge fault
STW1 0.0 (bit 8)	Reserved
STW1 0.1 (bit 9)	Reserved
STW1 0.2 (bit 10)	Control by PLC
STW1 0.3 (bit 11)	Direction of rotation
STW1 0.4 (bit 12)	Holding brake must be opened
STW1 0.5 (bit 13)	Motorized potentiometer setpoint higher
STW1 0.6 (bit 14)	Motorized potentiometer setpoint lower
STW1 0.7 (bit 15)	Reserved
STW2 (bits 16 to 32)	Speed setpoint

Figura 2-23. Valores de bits de la STW1.

57 bit representation (drive)	
ZSW1 1.0 (bit 0)	Ready for power-up
ZSW1 1.1 (bit 1)	Ready to operate
ZSW1 1.2 (bit 2)	Operation enabled
ZSW1 1.3 (bit 3)	Fault active
ZSW1 1.4 (bit 4)	No coast down active (OFF2 active)
ZSW1 1.5 (bit 5)	No coast down active (OFF3 inactive)
ZSW1 1.6 (bit 6)	Switching on inhibited active
ZSW1 1.7 (bit 7)	Warning present
ZSW1 0.0 (bit 8)	Following error in the tolerance range
ZSW1 0.1 (bit 9)	FFD control reached
ZSW1 0.2 (bit 10)	Target position reached
ZSW1 0.3 (bit 11)	Open holding brake
ZSW1 0.4 (bit 12)	Traversing block activate acknowledgement
ZSW1 0.5 (bit 13)	No alarm overtemperature motor
ZSW1 0.6 (bit 14)	Direction of rotation
ZSW1 0.7 (bit 15)	No thermal overload in power unit alarm
ZSW2 (bits 16 to 32)	Bits 16 - 31 -- actual speed value

Figura 2-24. Valores de bits de la ZSW1.

IV. *Configuración del drive:* Aquí debemos seleccionar algunos datos del motor y el ciclo de carga a utilizar.

Los ciclos de carga se dividen en dos tipos:

- ***Sobrecarga baja:*** Este ciclo de carga supone una carga de base uniforme con bajos requisitos durante fases breves de aceleración. Algunas aplicaciones típicas para este tipo de ciclo son:
 - » Bombas, ventiladores y compresores.
 - » Molinos, mezcladoras, amasadoras y agitadores.
 - » Extrusoras.
- ***Sobrecarga alta:*** Este ciclo permite fases dinámicas de aceleración con carga base reducida. Aplicaciones típicas para este ciclo son:
 - » Transportadores horizontales y verticales (cintas transportadoras, transportadores de rodillo o de cadena).
 - » Ascensores.
 - » Puentes grúa.
 - » Escaleras mecánicas.

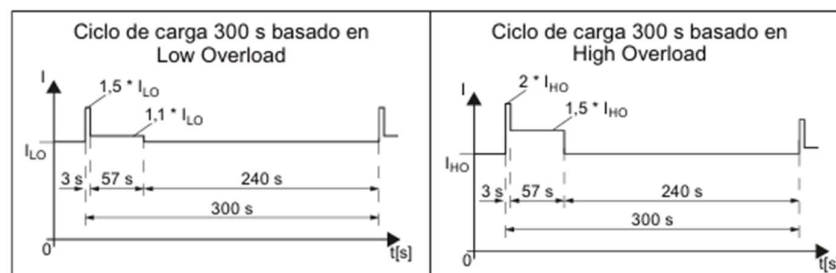


Figura 11-2 Ciclos de carga "Sobrecarga baja" y "Sobrecarga alta".

Figura 2-25. Tipos de Ciclos de Carga.

En nuestro caso, el ciclo de carga "Sobrecarga baja" es más adecuado.

El ciclo de carga del Debobinador implica una carga de base uniforme con bajos requisitos durante fases breves de aceleración. Dado que el Debobinador funcionará desenrollando bobinas de chapa metálica, es probable que tenga una carga de base relativamente uniforme durante la operación normal. Además, aunque puede haber momentos de aceleración durante la operación, es probable que sean breves y no requieran un alto torque de arranque continuo. Esto se alinea con las características del ciclo de carga "Sobrecarga baja" descrito por el fabricante.

Por lo tanto, con base en la información proporcionada y considerando que el Debobinador de chapas metálicas funcionará con una carga relativamente uniforme y con requisitos de aceleración breves, el ciclo de carga "Sobrecarga baja" parece ser más apropiado.

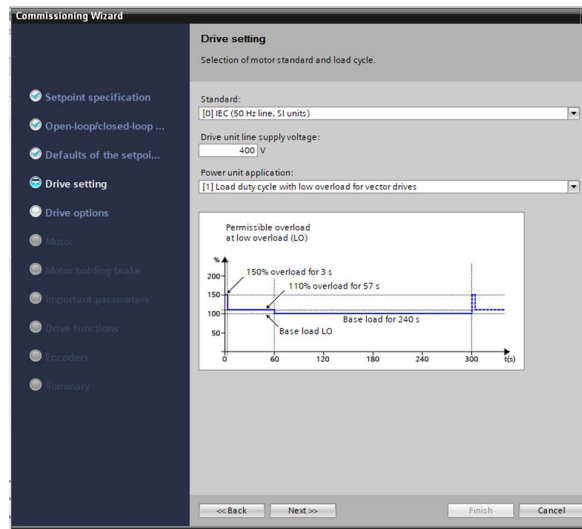


Figura 2-26. Commissioning: Configuración del drive.

- V. *Opciones del Drive*: Aquí deberíamos elegir el tipo de filtro del lado del motor. En nuestro sistema, el motor no posee filtro, por lo que elegimos esa opción.

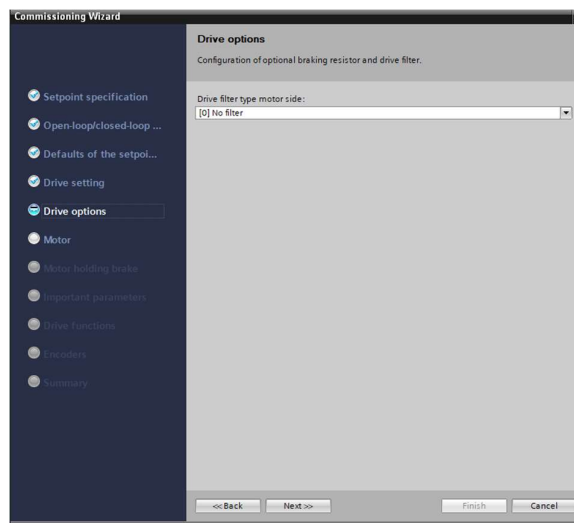


Figura 2-27. Figura 2-27. Commissioning: Opciones del drive.

VI. *Motor*: En esta ventana seleccionamos el tipo de motor y los datos del mismo. Para ello, utilizamos los datos proporcionados anteriormente en la descripción del motor.

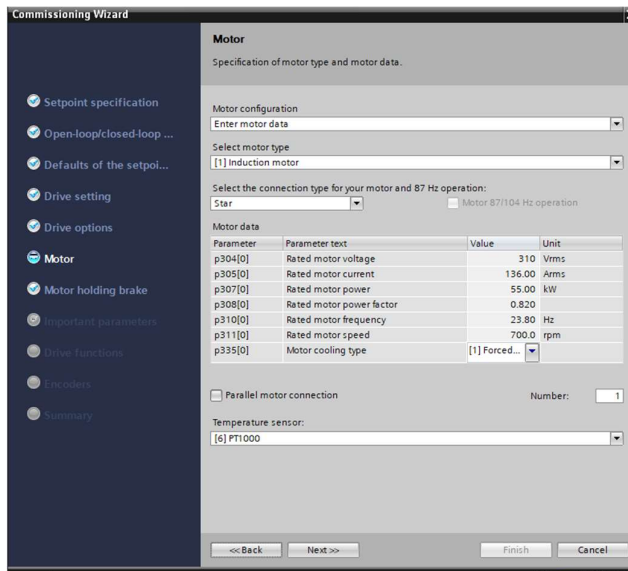


Figura 2-28. Commissioning: Datos del Motor.

VII. *Freno de mantenimiento del motor*: Se debe elegir si el motor tiene freno de mantenimiento. En nuestro caso, no posee.

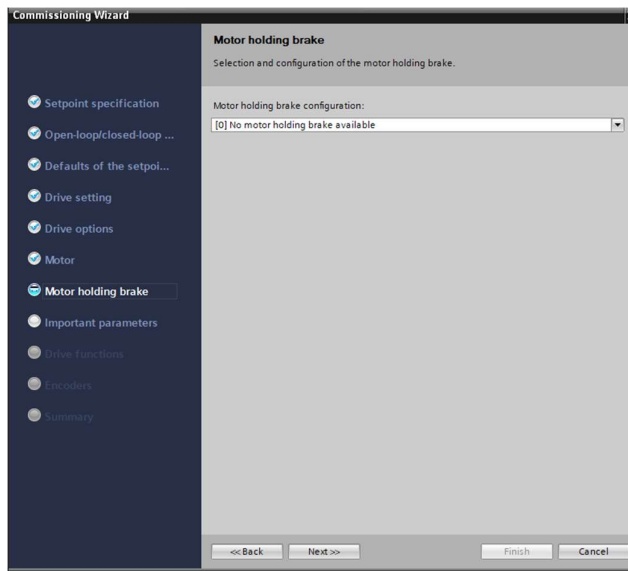


Figura 2-29. Commissioning: Freno de mantenimiento.

VIII. *Parámetros importantes*: Seleccionamos aquí los datos más importantes de la respuesta dinámica. Esto datos se ajustan automáticamente con respecto a las características del motor.

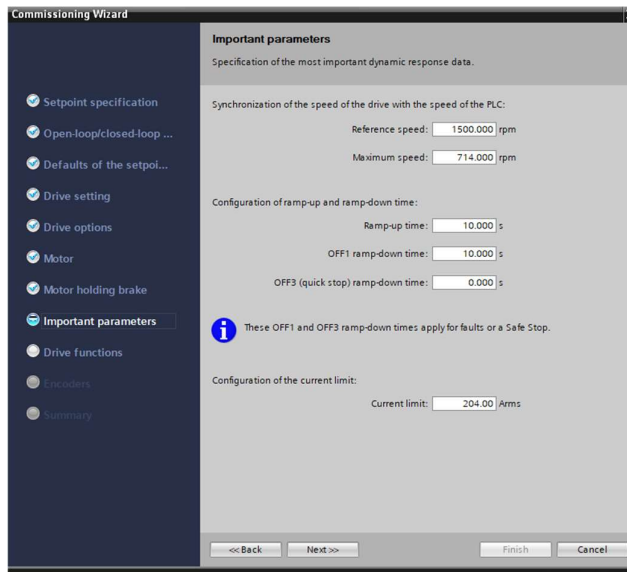


Figura 2-30. Commissioning: Parámetros importantes.

- IX. *Funciones del Drive*: Acá especificamos el método de medición de los datos del motor. Se selecciona aquí una aplicación estándar para el drive, se habilita la identificación de los parámetros del motor automáticamente cuando el drive se habilita y se autoriza el cálculo de parámetros de control mediante los datos del motor.

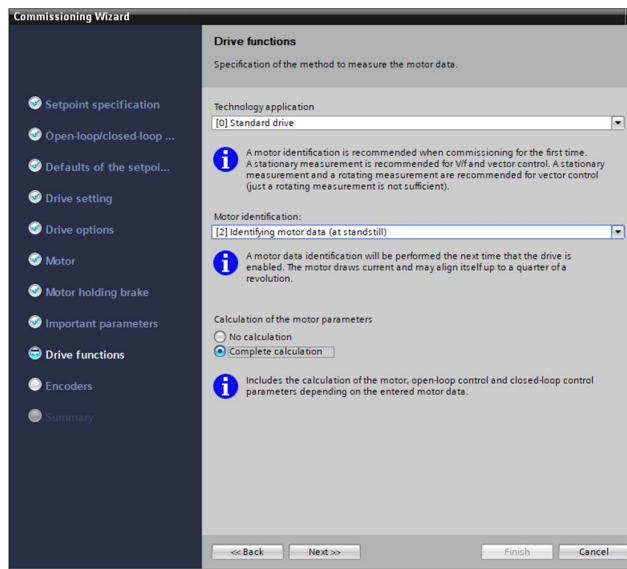


Figura 2-31. Commissioning: Funciones del Drive.

- X. *Encoders*: Se selecciona la cantidad y tipo de encoders que posee el sistema. En nuestro caso, utilizamos los datos, descriptos anteriormente, del encoder del motor.

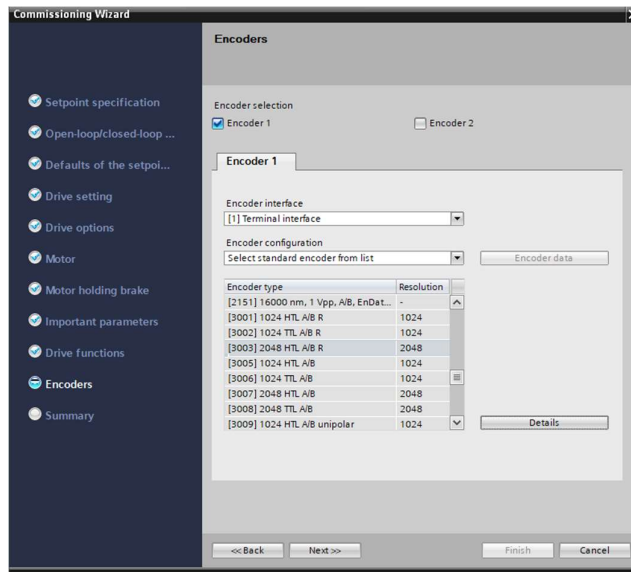


Figura 2-32. Commissioning: Encoders.

XI. *Resumen:* Resumen de todos los parámetros definidos anteriormente.

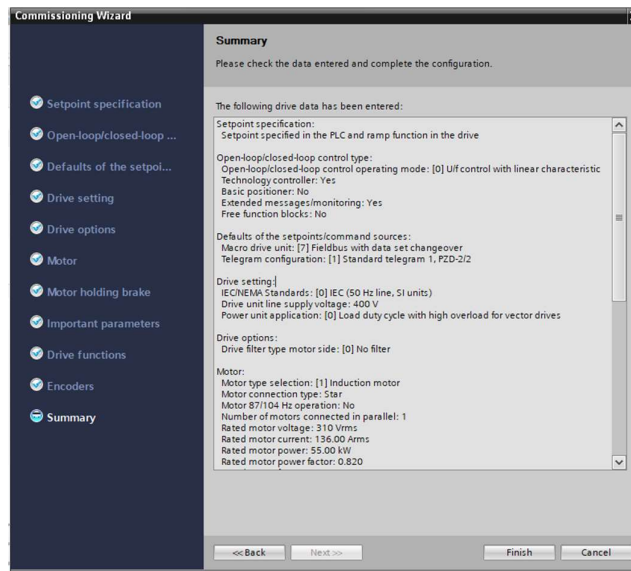


Figura 2-33. Commissioning: Resumen.

Finalizado el *Commissioning*, estamos en condiciones de comenzar la programación en nuestro PLC. Entraremos más en detalle sobre esto en el próximo capítulo.

Compilación del proyecto

La compilación del proyecto en TIA Portal es una etapa crítica en el desarrollo de sistemas de control automatizado. Este proceso permite verificar y asegurar la integridad del código del programa, detectando y corrigiendo errores de sintaxis que podrían causar fallos en su funcionamiento. A través de la compilación, es posible identificar incompatibilidades entre

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

distintas partes del programa, así como entre el programa y el hardware específico utilizado, garantizando así una correcta interacción con los dispositivos del sistema. Particularmente, en este capítulo buscaremos detectar que la configuración del hardware sea correcta para luego poder avanzar con la programación sin problema.

Además, la compilación del proyecto no solo se centra en la corrección de errores, sino que también prepara el programa para su descarga en el hardware de automatización. Este paso es esencial para asegurar que el código esté completamente listo y libre de fallos antes de su implementación en el entorno de producción real.

En resumen, la verificación de la correcta compilación en TIA Portal es una práctica indispensable que asegura la funcionalidad, compatibilidad y preparación del programa, contribuyendo significativamente a la confiabilidad y eficacia del sistema de automatización en su totalidad.

Para realizar la compilación del proyecto tenemos dos caminos, en ambos siempre debemos seleccionar el dispositivo sobre el cual vamos a realizar la verificación. En primer lugar, podemos utilizar el botón de compilar que se muestra en la pantalla principal (Figura 2-). Como segunda opción, hacemos clic derecho sobre el dispositivo a verificar, buscamos la opción de compilar y damos clic a la opción que queremos.

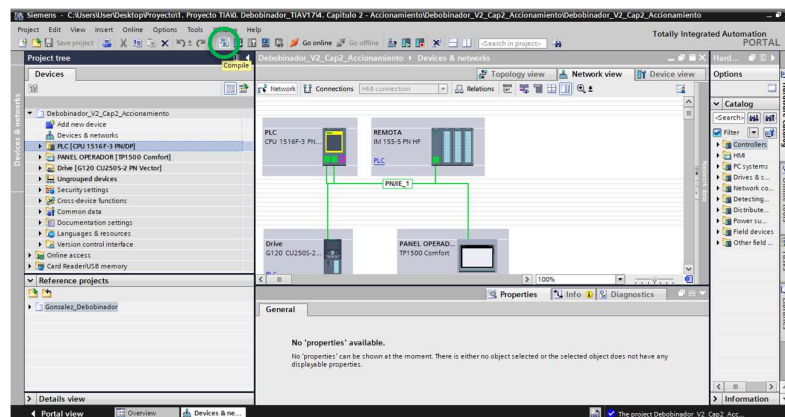


Figura 2-34. Pantalla principal: Botón de Compilación.

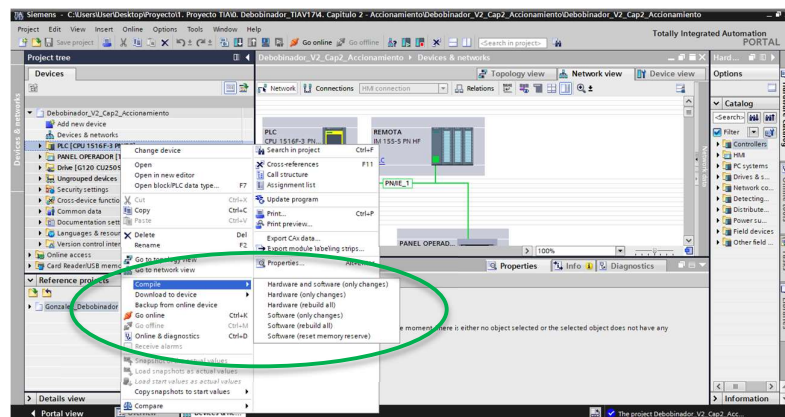


Figura 2-35. Pantalla Principal: Opción de compilación sobre cada dispositivo.

Al dar inicio a la compilación por medio de alguna de las opciones mencionadas, aparecerá una pestaña en la parte inferior de la pantalla que nos muestra el estado de la compilación y si existen errores o no.

Nota: En el caso del PLC las Advertencias que aparecen son normales en esta instancia ya que faltan ciertas configuraciones que se realizarán en el capítulo siguiente.

PLC

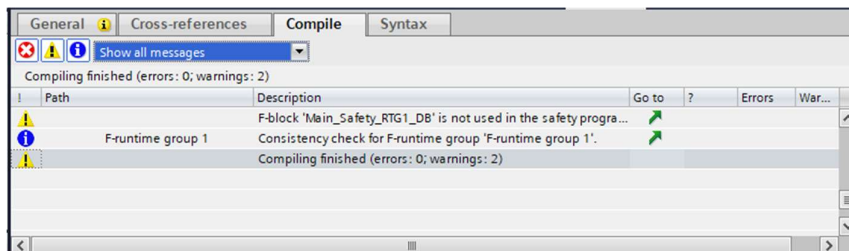


Figura 2-36. Compilación: PLC

HMI

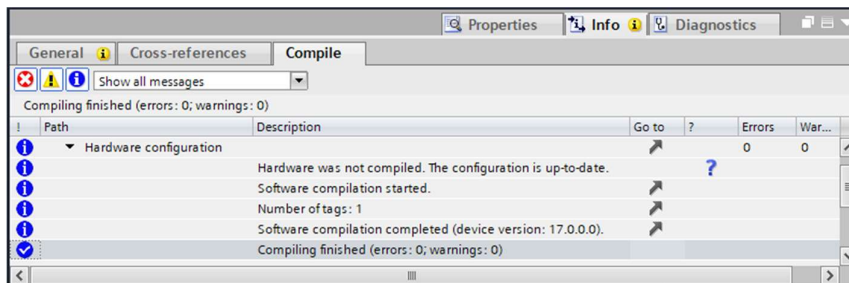


Figura 2-37. Compilación: HMI

Conclusión

A lo largo de este capítulo, hemos abordado de manera detallada y exhaustiva la configuración y el diseño del sistema de accionamiento necesario para el desarrollado controlado de bobinas de chapa metálica. Este proceso es crucial para garantizar un rendimiento eficiente, preciso y seguro del sistema de producción industrial.

En primer lugar, hemos descrito el entorno de programación TIA Portal, destacando sus capacidades y herramientas que facilitan la creación y gestión de proyectos de automatización complejos. A continuación, hemos procedido con la creación del proyecto, donde definimos y configuramos los dispositivos físicos seleccionados, tales como la CPU 1516F-3 PN/DP, el Drive G120 CU250S-2 PN Vector y el Panel Operador TP1500 Confort.

La declaración y configuración de estos dispositivos incluyó la definición de la topología y red PROFINET, asegurando una comunicación eficiente y robusta entre todos los componentes del sistema. Además, llevamos a cabo la parametrización de los componentes virtuales, estableciendo los parámetros esenciales para el correcto funcionamiento del sistema de accionamiento.

Un paso crucial en este proceso fue la realización del "Commissioning" del drive, que implicó la configuración precisa y puesta en servicio del Drive G120. Esta etapa aseguró que el drive está correctamente parametrizado y listo para operar dentro de los requisitos específicos de nuestra aplicación.

Finalmente, la verificación de la correcta compilación del proyecto en TIA Portal fue fundamental para identificar y corregir posibles errores de sintaxis y asegurar la compatibilidad con los dispositivos hardware. Esta compilación exitosa garantiza que el sistema está preparado para su implementación en el entorno real de producción.

En resumen, este capítulo ha logrado establecer una base sólida para el sistema de accionamiento, asegurando que todos los dispositivos están configurados y parametrizados correctamente. Con estos pasos completados, el sistema está ahora listo para la siguiente fase, que se abordará en el próximo capítulo: la programación del sistema de control. Este siguiente paso será fundamental para implementar la lógica de control necesaria para que los motores y dispositivos actúen según los requisitos específicos del proceso de desenrollado de bobinas, permitiendo una operación eficiente y precisa.

Este capítulo nos deja con un proyecto robusto y listo para ser programada en el siguiente capítulo, donde implementaremos el sistema de control que garantizará el funcionamiento adecuado y eficiente del debobinador de chapas metálicas.

VII. **Capítulo III: Configuración y diseño del sistema de control del debobinador en el entorno del programa TIA Portal.**



Realizaremos ahora, la escritura del programa que utilizara el PLC. Comenzaremos describiendo y explicando algunos conceptos que serán claves para estructurar el proyecto y llevar a cabo la programación de manera eficiente y organizada.

Introducción

Se realizará una breve descripción de cómo funciona la programación en TIA, cuáles son los bloques de control utilizados y el método de control que utilizaremos para el sistema.

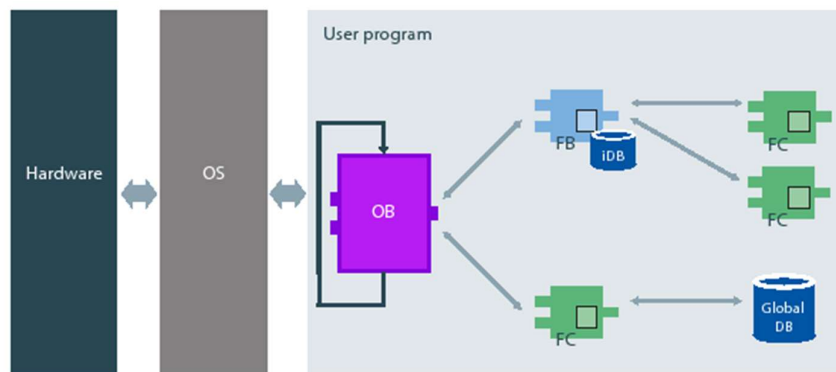


Figura 3-1. interacción entre el sistema operativo y el programa de usuario.

El **Sistema Operativo (OS)** se encuentra dentro de cada CPU. El mismo se encarga de organizar las funciones y secuencias de la CPU que no están asociadas con una tarea de control específica.

Algunas de las tareas de este sistema incluyen:

- Actualización de la imagen del proceso de las entradas y salidas.
- Llamar al programa de usuario.
- Detectar alarmas y llamar OB de alarma.
- Detección y manejo de errores.
- Gestionar áreas de memoria.

El **Programa de Usuario** contiene todas las funciones necesarias para procesar su tarea de automatización específica. Este programa es el que deberá desarrollar el usuario.

Las tareas del programa de usuario incluyen:

- Comprobación de los requisitos para un reinicio (en caliente) mediante OB de arranque, por ejemplo, interruptor de límite en la posición correcta o relé de seguridad activo.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- Procesamiento de datos de proceso, p. enlazar señales binarias, leer y evaluar valores analógicos, definir señales binarias para la salida y emitir valores analógicos.
- Reacción ante alarmas, p. ej. alarma por error de diagnóstico si se sobrepasa el valor límite de un módulo de ampliación analógico.
- Manejo de errores en la ejecución normal del programa.

El programa de usuario se escribe y se carga en la CPU.

Para realizar nuestro programa, teniendo en cuenta que es una programación medianamente compleja, utilizaremos lo que se conoce como **Programación Estructurada**. Este tipo de programación divide la tarea de automatización en subtareas más pequeñas que corresponden a funciones tecnológicas del proceso y que pueden reutilizarse, haciendo que su gestión y manejo sean más simples. Estas subtareas son presentadas en el programa de usuario mediante bloques que, a su vez, representan una sección independiente del programa.

La programación estructurada ofrece las siguientes ventajas:

- Los programas extensos son más fáciles de programar a través de la estructura.
- Las secciones individuales del programa se pueden estandarizar y utilizar repetidamente con parámetros cambiantes.
- La organización del programa se simplifica.
- Los cambios en el programa se pueden realizar más fácilmente.
- La puesta en marcha se simplifica.

La siguiente figura muestra esquemáticamente un programa estructurado: El OB de ciclo "Main" llama sucesivamente a subprogramas para ejecutar tareas parciales definidas.

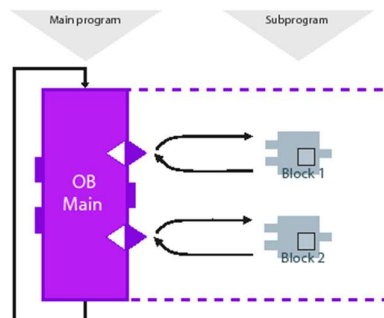


Figura 3-2. Programa estructurado.

Tipos de Bloques

Hay diferentes tipos de bloques disponibles para realizar tareas dentro de un sistema de automatización. La siguiente tabla muestra los tipos de bloques disponibles:

Tipo de Bloque	Breve descripción
Bloques de Organización (OB)	Los bloques de organización definen la estructura del programa de usuario.
Funciones (FC)	Las funciones contienen rutinas de programa para tareas recurrentes. No tienen "memoria".

Bloques de Función (FB)	Los bloques de funciones son bloques de código que almacenan sus valores de forma permanente en bloques de datos de instancia, de modo que permanecen disponibles incluso después de que se haya ejecutado el bloque.
Bloques de Datos de Instancia	Los bloques de datos de instancia se asignan a un bloque de funciones cuando se llama con el fin de almacenar datos del programa.
Bloques de Datos Globales	Los bloques de datos globales son áreas de datos para almacenar datos que pueden ser utilizados por cualquier bloque.

Tabla 3-1. Tipos de bloques.

Control de motores eléctricos asincrónicos

A lo largo de la historia, los *motores asíncronos de corriente alternan (CA)*, especialmente los de rotor en jaula de ardilla, han sido valorados en la industria por su robustez, fiabilidad, y bajo costo de mantenimiento en comparación con los motores de corriente continua (CC). A pesar de estas ventajas, la regulación precisa de la velocidad, un aspecto crítico en muchas aplicaciones industriales como la tracción eléctrica y los trenes de laminación en empresas metalúrgicas, era un campo dominado por los motores de CC debido a la simplicidad de su control de velocidad y par.

El mayor inconveniente de los motores de CC radicaba en el uso del colector de delgas, que requería un mantenimiento continuo debido al desgaste asociado con el chispeo y la conmutación. Mientras tanto, los motores asíncronos de CA se usaban en aplicaciones donde no era necesaria una regulación precisa de velocidad, pero su versatilidad estaba limitada por esta restricción. Sin embargo, a medida que la electrónica de potencia fue evolucionando, especialmente con la llegada del tiristor en 1957, seguido por avances como el GTO, los IGBT, los transistores MOSFET y la incorporación del microprocesador en 1971, se hizo posible desarrollar convertidores electrónicos que permitieron la regulación efectiva de la velocidad de los motores de inducción. Este avance técnico llevó a que los motores asíncronos empezaran a reemplazar progresivamente a los motores de CC en aplicaciones donde antes no eran considerados viables.

El uso de motores eléctricos rotativos ha sido crucial en la industria desde siempre, con aproximadamente un 60% de la energía eléctrica del planeta siendo convertida a través de estos dispositivos, tanto de corriente alterna como continua. Inicialmente, los motores de CC se destacaban por su fácil regulación de par y velocidad, lo que los hacía preferidos en muchos procesos industriales. Sin embargo, en las últimas décadas, las máquinas de corriente alternan han ido ganando terreno, gracias al desarrollo de nuevas técnicas de control, como el **Control Escalar** y el **Control Vectorial**. Estas técnicas han permitido que los motores de CA iguallen e incluso superen a los de CC en cuanto a rendimiento y control, sumando ventajas adicionales como su mayor robustez, menor costo de fabricación, y reducido mantenimiento.

El Control Escalar, una de las primeras técnicas utilizadas para regular motores de CA, permitía una regulación adecuada de la velocidad en aplicaciones donde no era necesaria una alta precisión. En este método, la frecuencia y la tensión del estator se controlaban conjuntamente, logrando un balance adecuado para ciertas aplicaciones. No obstante, la falta de independencia entre el par y el flujo magnético dentro del motor reducía su capacidad de respuesta dinámica, limitando su uso en aplicaciones más exigentes.

Con la creciente demanda de un control más preciso y eficiente, surgió el Control Vectorial como una evolución del método escalar. A diferencia del control escalar, el control vectorial permite separar dinámicamente el par del flujo magnético en el motor, ofreciendo una regulación más exacta de la velocidad y mejorando significativamente la respuesta dinámica. Esta técnica ha revolucionado el uso de los motores de inducción, posicionándolos como la opción preferida en diversas aplicaciones industriales donde se requieren altos niveles de precisión y control.

Para nuestro caso, utilizaremos el **Control Vectorial o Control de Campo Orientado (FOC)** que nos permitirá realizar un control preciso del torque y la velocidad, lo cual es fundamental a medida que el radio de la bobina cambia en el desenrollado. La base de este método de regulación es controlar tanto la magnitud como la fase del flujo magnético del motor asíncrono para conseguir un funcionamiento análogo al que tienen los motores de c.c.

Par producido en una maquina eléctrica

- *Máquina de Corriente Continua (C.C.)*

En un motor de C.C. el valor del par electromagnético producido por esta máquina es de la forma:

$$T = k_T \phi i_i \quad (1)$$

De la ecuación anterior se deduce que la regulación del par de un motor de c.c. se puede realizar modificando bien sea el flujo magnético ϕ , la corriente que atraviesa el inducido i_i o de ambas magnitudes a la vez.

Para mejorar la dinámica del sistema generalmente la mejor regulación se realiza manteniendo constante el flujo magnético y variando la corriente que atraviesa el inducido, en virtud de que la inductancia del devanado inducido es mucho menor que la del inductor, lo que significa que la constante de tiempo del inducido es menor que la del inductor, lo que se traduce en una respuesta más rápida.

Si se considera el esquema de la Figura 3-6, en que se representa un motor de C.C. con excitación independiente, se observa que en este motor se tiene:

- a) Un campo magnético estacionario producido por el devanado de excitación o campo inductor que lleva una corriente I_e . Este devanado produce un flujo magnético ϕ a lo largo del eje de los polos, que se denomina **eje directo o eje d** del motor.
- b) Un par electromagnético en los conductores del rotor, debido a la circulación de una corriente por el devanado inducido I_i tal como se señala en la Figura 3-6. Este flujo se encuentra sobre la línea neutra o de las escobillas, es decir, a 90° del eje magnético del inductor, y que se conoce como **eje en cuadratura o eje q**.

Debido a que la f.m.m. del inducido es perpendicular al flujo magnético del inductor, la variación de la corriente que circula por este devanado no modificará o afectará al campo magnético inductor (se consideran despreciables los efectos de la reacción de inducido); se dice por ello que las corrientes del inductor y del inducido están **desacopladas**, de este modo manteniendo la corriente de excitación constante, los cambios del par seguirán los cambios en la corriente aplicada al inducido instantánea y exactamente.

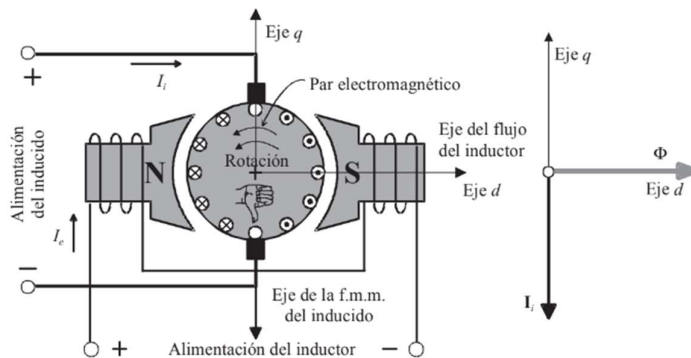


Figura 3-6. Motor de C.C. con excitación independiente.

- *Máquina de Inducción*

En un motor asincrónico hay un devanado trifásico en el estator, y la fuerza magnetomotriz F_s producida en este, es giratoria, es decir se mueve a la velocidad angular del sincronismo dependiente de la frecuencia eléctrica de las corrientes estáticas. El rotor gira a una velocidad mecánica donde producto del flujo variable del estator se inducen corrientes que generan una fuerza magnetomotriz del rotor F_r el cual gira a la velocidad del sincronismo. De este modo los flujos del estator y del rotor están enclavados eléctricamente, la interacción de estos dos flujos crea una f.m.m. resultante F_μ de imanación, que crea a su vez el flujo máximo en el entrehierro de la máquina. La producción de un par electromagnético en el motor de inducción procede del esfuerzo de alineación entre las f.m.m. El par magnético en una máquina de inducción viene dado por:

$$T = k_T \phi_m I_s \sin \delta_s \quad (2)$$

De esta expresión, podemos ver que el par producido en una máquina de inducción depende del flujo en el entrehierro ϕ_m , de la corriente del estator I_s y del ángulo δ_s que se forma entre estos dos fasores. Cabe destacar que el ángulo δ_s no es necesariamente 90° como ocurre con la máquina de corriente continua.

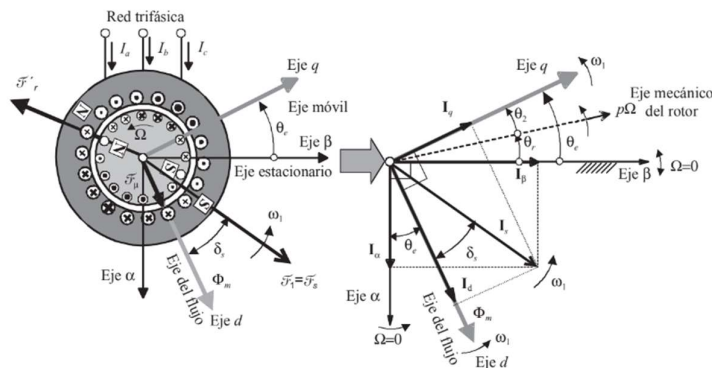


Figura 3-7. Fasores espaciales de f.m.m. en un motor asincrónico.

De acuerdo con la Figura b anterior, el fasor I_s puede descomponerse en dos partes: $I_d = I_s \cos \delta_s$ paralelo al eje de campo o eje directo d, que gira a la velocidad de sincronismo del campo

giratorio, e $I_q = I_s \sin \delta_s$ perpendicular al eje anterior y denominado eje cuadratura o eje q. A estas corrientes se las conoce como componentes del campo orientado.

En la figura b, también podemos observar que la componente I_d está en fase con el flujo magnético, por lo que representa la componente de la corriente del estator responsable de producir el **flujo magnético** y es análoga a la **corriente de excitación I_e del motor de c.c.** Por otro lado, la componente I_q de la corriente del estator está en cuadratura con el flujo, que la corriente es análoga a la **corriente de inducido I_i del motor de c.c.** que se utiliza para controlar el par del motor.

Transformación de Coordenadas

Como ya se ha indicado antes, la base del control vectorial es copiar el funcionamiento del motor de C.C., y para resolver el problema de control se deben mantener en cuadratura las componentes de imitación I_d y de par I_q de la corriente estática, desacoplando ambas componentes de forma que se puedan ajustar independientemente una de otra. En definitiva, en un sistema de control vectorial de motores asíncronos hay que controlar en tiempo real la magnitud y fase de las corrientes de alimentación del estator, en respuesta a cambios en las demandas de velocidad y de par requeridas por el accionamiento.

Es por ello que en el estudio del motor asíncrono y de sus accionamientos se ha hecho necesario acudir a diversas transformaciones matemáticas que relacionen las corrientes eléctricas en el estator, para así obtener un modelo dinámico de la máquina.

- *Transformada de Clarke*

La primera transformación de coordenadas, llamada Transformada de Clarke, convierte un conjunto trifásico en otro bifásico, ambos estacionarios y con la misma referencia del estator. Este sistema de coordenadas estacionario (eje α , eje β) se obtiene de tal modo que el eje α coincida con la horizontal y el eje β este 90° adelantado con respecto del anterior. En la Fig. 3. se puede observar cómo se obtiene la corriente del estator I_s representada en componentes los dos ejes estacionarios (i_α e i_β , respectivamente).

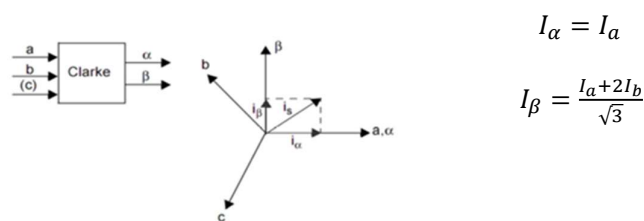
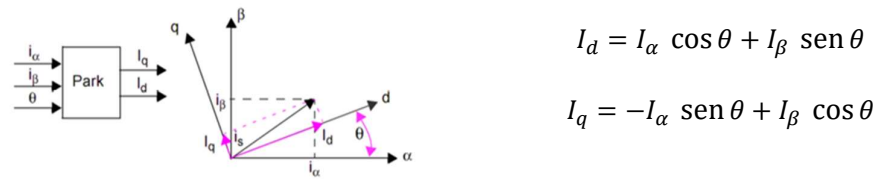


Figura 3-8. Transformada de Clarke de un sistema de corrientes trifásicas.

- *Transformada de Park*

Esta obtiene a partir del sistema bifásico estacionario, un sistema rotativo que se mueve respecto al primero a la velocidad correspondiente al campo magnético giratorio del estator. Este sistema de dos ejes giratorios (eje d o eje directo y eje q o eje de cuadratura) se ubica adelantado al eje α en un ángulo θ (Ángulo de desplazamiento del rotor con respecto a la horizontal), el cual representa el ángulo de desplazamiento del flujo magnético del rotor con

respecto a la horizontal. La corriente I_s se representa mediante dos nuevas componentes, la componente en el eje directo I_d y la del eje en cuadratura I_q .



$$I_d = I_\alpha \cos \theta + I_\beta \sin \theta$$

$$I_q = -I_\alpha \sin \theta + I_\beta \cos \theta$$

Figura 3-9. Transformada de Park de un sistema bifásico estacionario.

Aplicación de las transformadas de Clarke y Park al diagrama fasorial de un motor de inducción

De acuerdo a la Fig. 3-10, el fasor I_s puede descomponerse en dos partes, una componente I_d paralela al eje directo la cual gira a la velocidad del sincronismo del campo giratorio, y una I_q perpendicular al eje anterior a lo largo del eje de cuadratura. A estas corrientes se les conoce como componentes del campo orientado. Donde:

$$I_d = I_s \cos \delta_s$$

$$I_q = I_s \sin \delta_s \quad (3)$$

$$T_{em} = k_T \phi_m I_q$$

Sustituyendo (3) en (2) se tiene que:

$$T = k_T \phi_m I_s \sin \delta_s = k_T \phi_m I_q \quad (4)$$

La componente I_d está en fase con el flujo magnético, por lo que representa la componente de la corriente del estátor responsable de producir el flujo magnético y es análoga a la corriente de excitación en un motor de C.C. Por otro lado, la componente I_q , está en cuadratura con respecto al flujo, si se compara (1) con (5), I_q , es análoga a la corriente del inducido i_a del motor de C.C., que se utiliza para controlar el par del motor.

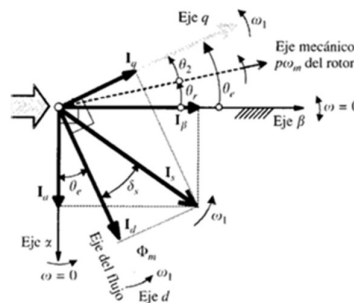


Figura 3-10. Aplicación de las transformadas al diagrama fasorial del motor de inducción.

Pese a la analogía aparente, hay diferencias sustanciales entre el motor de C.C. y el motor Asíncrono, que conviene destacar. En el motor de C.C. el eje del flujo Φ_f es fijo (eje directo) y

el flujo Φ_a tiene lugar a 90° con respecto a Φ_f (eje de cuadratura), en tanto que en el motor asincrónico el flujo Φ_m es giratorio, por lo que los ejes directos y de cuadratura de la Fig. 3.10 se mueven a la velocidad del sincronismo, y el ángulo δ_s que forman F_s y Φ_m no es constante ni igual a 90° , sino que depende del par que produce la máquina. Por otro lado, el motor de C.C. las corrientes del inductor y del inducido circulan por devanados distintos y accesibles desde el exterior, aspecto que no es posible conseguir en un motor de inducción, ya que no se puede actuar separadamente sobre las corrientes generadoras del par I_q y del flujo I_d .

Control Vectorial

La estrategia de Control Vectorial se basa en extrapolar la técnica de control de motores de corriente continua al ámbito de los motores de inducción. Para ello y debido a que una máquina de corriente alterna carece de dos bobinados desacoplados se recurre al expediente de referenciar el sistema trifásico alterno de corrientes estatóricas a un sistema de coordenadas no estacionario que gira sincrónicamente con el campo magnético rotórico. En este nuevo sistema de referencia las corrientes estatóricas pueden ser tratadas como vectores rotantes, de ahí el nombre de control vectorial o también control de campo orientado.

El paso siguiente es descomponer este vector en dos componentes: una I_d colineal con el campo rotórico y la restante I_q en cuadratura. La primera resulta ser responsable del flujo magnético de la máquina y se la designa como corriente de magnetización, la segunda genera el par motriz y se la llama corriente activa. Por la vía de esta transformación de coordenadas resulta entonces posible desacoplar el modelo matemático de la máquina de inducción y controlar estas componentes en forma independiente de la misma manera que en un motor de corriente continua se controlan las corrientes de campo y armadura, obteniéndose similares respuestas dinámicas. Una vez determinados en este sistema de referencia no estacionario los valores requeridos de I_d e I_q se aplica una transformación de coordenadas inversa que arroja por resultado las consignas de magnitud y fase de las corrientes alternas estatóricas.

Estas consignas se aplican a la entrada del inversor regulador de corriente quién genera como respuesta las señales PWM (Dispositivos de Modulación por Ancho de Pulso) de disparo que atacarán los IGBT's (Transistores de Potencia) de la etapa de potencia generando las tensiones que alimentan los bobinados del motor. Cabe mencionar que para poder ejecutar las rutinas de transformación de coordenadas es necesario contar con el ángulo θ , esta necesidad da origen a dos estrategias diferentes: registrar, mediante dos transductores magnéticos en el entrehierro, la magnitud y posición del flujo Φ_m (*Control Vectorial Directo*) o estimar la amplitud y orientación de Φ_m mediante un encóder o tacogenerador (*Control Vectorial Indirecto*). Como se muestra en la Fig. 3-11, el motor es alimentado a través de un inversor por una fuente de voltaje de C.C. El inversor consiste en seis IGBTs y seis diodos. Dos de las corrientes del estátor son medidas, y junto a la medición del ángulo θ , son analizadas en la unidad de control donde se aplican las transformaciones de coordenadas y se obtiene las señales de control que son transmitidas a la interface la cual interviene en el inversor para obtener los valores apropiados de corrientes y tensiones para la alimentación del motor. Este proceso debe ser realizado en un intervalo de tiempo muy pequeño, debido a que el flujo Φ_m gira, y los valores cambian para cada nueva posición.

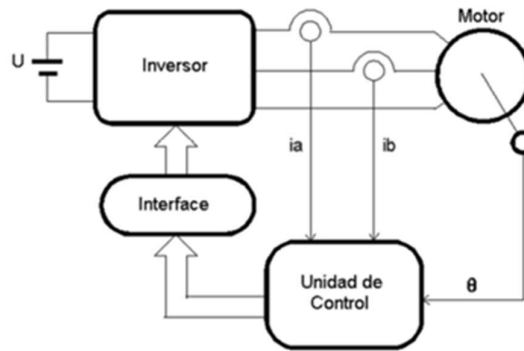


Figura 3-11. Esquema básico de la aplicación del Control Vectorial.

> Control Vectorial Directo

El método de Control Vectorial Directo patentado por Blashke en 1969, sintetiza un vector unitario que determina los ejes referencia sincrónicos de la medida directa del flujo del entrehierro o del rotor, como lo muestra la Fig. 3-12. En el caso general, no se dispone de esta medida de forma directa, ya que para ello es necesario introducir sensores en la corona del estator. Por esta razón es necesaria la estimación a partir del resto de variables medibles, que son las tensiones e intensidades del estator, y la velocidad del rotor. El proceso de estimación generalmente conlleva una reconstrucción de la dinámica del motor y la resolución de las ecuaciones que dictan el comportamiento de la máquina.

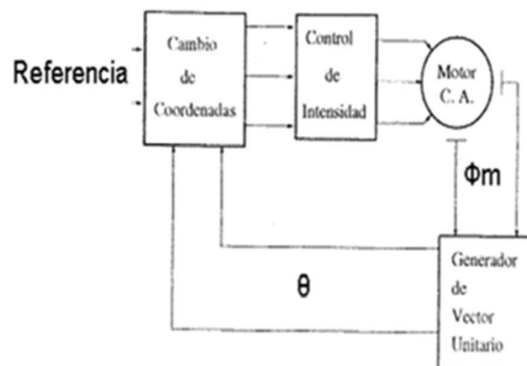


Figura 3-12. Diagrama de Control Vectorial Directo.

El control vectorial directo, aunque teóricamente tiene sus ventajas técnicas, ya que incluye una medida directa del flujo y la situación de su fasor espacial en el motor, tiene problemas de implementación en un ambiente industrial, y es por ello que no suele utilizarse (en definitiva, lo que sucede es que las ventajas del motor de inducción frente al de C.C. pierden de este modo su eficacia).

> Control Vectorial Indirecto

Ideado por Hasse en 1969, utiliza una estimación de la posición relativa de los ejes sincrónicos respecto de los de rotor (ángulo de deslizamiento). Midiendo la posición y velocidad del motor a través de un encoder y determinando a partir de los parámetros de la máquina, la posición del

fasor espacial de flujo, se obtiene indirectamente el vector unitario para la transformación de coordenadas. Este tipo de método se puede observar en la Fig. 3-11.

Este método de estimación del flujo es bastante sensible a los parámetros del motor, en concreto a los valores de resistencia e inductancia de los devanados del rotor, que deben medirse con gran precisión. Los parámetros utilizados en los cálculos se miden en los ensayos sin carga y no corresponden a los valores reales de funcionamiento de la máquina, ya que estos parámetros varían ampliamente con la saturación del circuito magnético, temperatura y frecuencia de las corrientes en el rotor. Se deben calcular los parámetros de la máquina y estimar sus variaciones conforme el motor cambia o modifica su punto de trabajo, pero se debe tener en cuenta que para que el comportamiento dinámico del accionamiento sea el adecuado, estas medidas y cálculos deben realizarse en tiempo real, y con extraordinaria rapidez, para identificar sin errores la posición del fasor espacial de flujo, lo que se consigue incorporando en el sistema de control, microprocesadores rápidos y potentes.

Aplicaciones del Control Vectorial

Las aplicaciones del Control Vectorial abarcan todo un posible abanico de posibilidades donde se requiera par nulo a velocidad nominal para luego conmutar a potencia constante y alcanzar una velocidad varias veces superior a la nominal, con capacidad de acelerar y desacelerar en ambas direcciones de rotación y controlar con precisión velocidad, par y posición. Entre las aplicaciones más comunes tenemos: Acumuladores de materiales, Líneas de fundición de acero, Carretes de alambres, Aplicaciones de enrollados y todas aquellas aplicaciones donde se necesite un control total del par a bajas velocidades o donde se requiera altos pares de partida.

El Control Vectorial, bien sea directo o indirecto, mejora el rendimiento dinámico de la máquina permitiendo entregar su par nominal a velocidades muy bajas (inclusive cero como en el caso del control vectorial indirecto), cosa que el control escalar no puede. Se pueden lograr ajustes finos de velocidad utilizando las técnicas de control vectorial puesto que la máquina responde de una manera constante, entregando el par al que este ajustado sin importar cuánto varía la velocidad.

Aplicación del Control Vectorial

Utilizaremos el documento de aplicación para Bobinadores de Siemens llamado "Application Extended Winder with DCB Extension". Este documento provee soluciones para bobinadoras que se utilicen para enrollar o desenrollar una banda continua de material con una tensión definida.

Descripción: En el proceso de bobinado, el diámetro cambia, y en un debobinador, que es nuestro caso, el producto se reduce en el rollo. El sistema de accionamiento calcula el diámetro real sobre la base de varias variables del sistema y controla la velocidad del motor para que la velocidad de la banda permanezca constante. Esto requiere que se conozca la *velocidad real de la banda de material* y la *velocidad de rotación del eje de la bobinadora*.

Configuración

Esta aplicación procesa las señales necesarias para controlar el eje del debobinador, como la velocidad y el par. La aplicación "Winder" consta de Bloques de Control de Accionamiento (DCB) que, a partir de las variables del sistema, generan puntos de ajuste para el eje del debobinador. La aplicación maneja todas las funciones esenciales del control de la bobinadora, como el cálculo del diámetro, el cálculo del momento de inercia y la configuración de la señal en función de la dirección

de bobinado, así como la salida de las levas de empalme, que controlan el rodillo y la cuchilla de empalme.

La solución descrita ofrece las siguientes ventajas:

- Ahorro de tiempo y costes al diseñar la función.
- Se puede expandir para incluir funciones personalizadas utilizando gráficos DCC abiertos.
- Independiente de cualquier sistema de control de nivel superior.
- Alivia un sistema de control de nivel superior.

Alcance funcional

- Se pueden aplicar diferentes técnicas de bobinado, p. control de tensión directo mediante corrección de velocidad, limitación de par y control de tensión indirecto, así como control de velocidad constante.
- Se puede seleccionar el cambio sin perturbaciones desde el controlador de velocidad (el controlador de tensión actúa sobre los límites de par) o la técnica de corrección de velocidad (el controlador de tensión actúa sobre el punto de ajuste de velocidad)
- Adaptación de la ganancia del controlador de tensión y del controlador de velocidad en función del diámetro o la inercia
- Posibilidad de controlar la dureza del devanado
- Compensación de inercia (control anticipado de aceleración) en función del momento de inercia del rodillo bobinado
- Cálculo del diámetro, ya sea basado en la técnica de división o integración, medido usando un sensor de diámetro o contando el número de capas de material enrolladas

Fundamentos – Modos de Control

En nuestro sistema, buscamos un control que haga que la maquina Aplanadora, que estira la chapa, siempre “Tire” al Debobinador. Es decir, el Debobinador siempre se mueve en la dirección impulsada por el Aplanador y está frenando este movimiento. En consecuencia, el Aplanador siempre gira más rápido que el Debobinador.

Por ejemplo, si se establece una consigna de velocidad de 600 rpm para el Debobinador, el Aplanador girará a 700 rpm, arrastrando siempre al debobinador. Esta diferencia de velocidad crea un torque negativo en el debobinador, ya que intenta resistir el tirón. Como resultado, el sistema de control de torque del debobinador siempre establece la velocidad real del debobinador ligeramente por debajo de la velocidad real del aplanador. Esta diferencia se ajusta mediante un potenciómetro para controlar el límite de torque y determina cuánto tira el debobinador.

Para realizar el control nos guiaremos por el esquema de un **Control Indirecto de Tensión a lazo abierto** que se muestra en la imagen debajo. El esquema mostrado es para un Bobinador de chapas, pero, realizando algunas modificaciones, puede ser utilizado para de Debobinador.

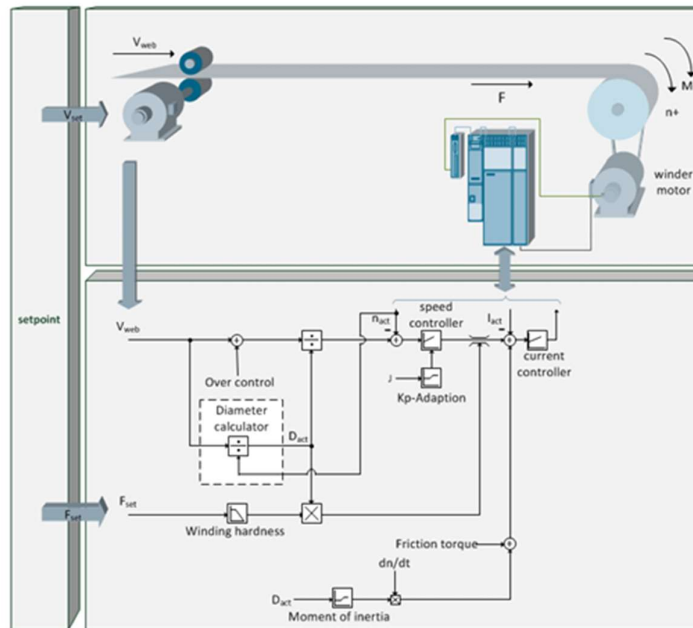


Figura 3-13. Diagrama de Control Indirecto de Tensión a lazo abierto.

El control indirecto de la tensión se utiliza con mucha frecuencia porque no se requieren sensores costosos. Esta técnica debe ser capaz de funcionar sin ningún tipo de retroalimentación de tensión. Como consecuencia, impone las más altas exigencias al procesamiento del punto de ajuste del par y a la precisión del par del accionamiento.

El control indirecto de la tensión se basa en la interrelación física entre el par y la tensión de la banda del material. El par motor se cambia en función del diámetro del rodillo que se está enrollando, de modo que se obtiene la tensión del punto de ajuste (tensión de referencia).

No se utiliza un controlador de tensión, sino que el punto de ajuste de tensión se multiplica por el radio, y el resultado se introduce directamente como valor límite de par, de modo que a medida que aumenta el diámetro, el par motor aumenta linealmente y la tensión se mantiene constante. Para lograr esto, el controlador de velocidad se opera al límite (sobre controlado). Cuando se considera con más detalle, realmente implica un control de par de bucle abierto.

Lo importante es que los pares de fricción y aceleración se compensen con precisión, de modo que el punto de ajuste del par de pre control proporcione la tensión de material requerida lo más cerca posible. Para este modo de control, debe asegurarse de que las pérdidas mecánicas se mantengan lo más bajas posible.

Explicación

Para llevar a cabo este control solo necesitaremos la Velocidad Angular del Debobinador ($n +$) en *rpm* y la Velocidad Lineal del Aplanador (V_{web}) que sería la velocidad de la chapa.

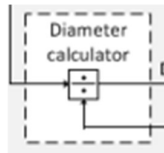
Ahora, teniendo estas velocidades, podemos calcular el diámetro. Para realizar esto, tendremos que seguir los siguientes pasos:

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- Pasamos la Velocidad actual del Debobinador de rpm a rad/s . Ahora, se divide la Velocidad actual del Aplanador por el valor obtenido antes y se calcula el diámetro.

$$\frac{n}{V_{web}} = r$$

Que sería la rama que se muestra debajo,



Luego, si observamos la rama superior, a la V_{web} , se le suma una pequeña componente (*Over Control* que genera la tensión en la chapa), luego se divide por el diámetro y se le resta la velocidad actual del debobinador. Se obtiene así la velocidad que necesitamos realmente, que luego ingresa a un bloque de Control de Velocidad.



En la otra rama, se establece un valor de fuerza, F_{set} , y se multiplica por el diámetro de la bobina que va variando, esto produce un torque ajustado según el diámetro de bobina que tengamos. Es decir, al poner la fuerza e ir multiplicándola por el diámetro que va variando se va ajustado el torque a medida que varía el diámetro de la bobina.



Para nuestro caso, esto no es necesario, se trabajará a torque constante y la limitación final, que se ve como una limitación de corriente, queda fija. Entonces, el operario varia este límite de torque para tener más o menos tensión dependiendo del tipo de chapa que van a cortar, los espesores más gruesos y las galvanizadas necesitan más "tiro".

Motion Control

El Motion Control de Siemens es una solución integral para el control y la automatización de movimientos en máquinas y procesos industriales. Utiliza controladores lógicos programables (PLC) y variadores de velocidad para gestionar de manera precisa y eficiente los motores eléctricos. Será la solución que utilizaremos para aplicar el control a nuestro motor.

¿Qué es?

El Motion Control es un sistema que combina hardware y software para controlar el movimiento de motores eléctricos en aplicaciones industriales. En el caso de Siemens, esta tecnología se integra dentro de su plataforma TIA Portal (Totally Integrated Automation), proporcionando una solución unificada para el diseño, programación y operación de sistemas de automatización.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

El TIA Portal permite crear un proyecto, configurar objetos tecnológicos y cargar la configuración en la CPU. La funcionalidad de Motion Control se procesa en la CPU. Los objetos tecnológicos se controlan utilizando instrucciones de Motion Control en el programa de usuario.

La figura siguiente muestra un esquema de las interfaces de usuario y la integración de Motion Control en la CPU S7-1500. A continuación, se explican brevemente los conceptos:

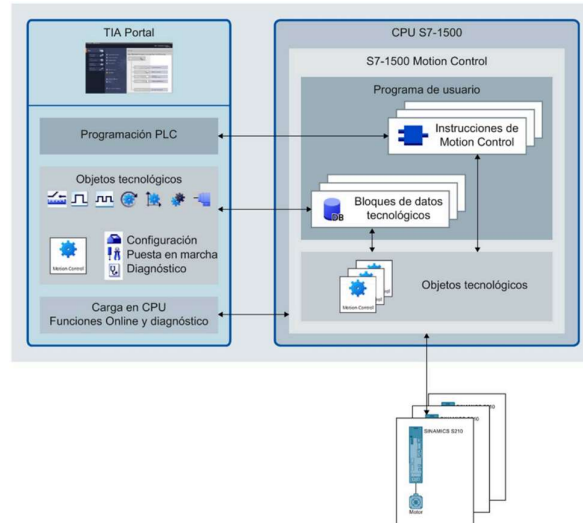


Figura 3-14. Esquema de las interfaces de usuario y la integración de Motion Control.

Tia Portal

TIA Portal ayuda a configurar y poner en marcha la funcionalidad de Motion Control. El mismo nos permite:

- Integración y configuración del hardware
- Creación y configuración de objetos tecnológicos
- Creación del programa de usuario
- Carga en CPU
- Puesta en marcha de los ejes
- Optimización de los accionamientos
- Diagnóstico

Con TIA Portal se configuran el hardware, los objetos tecnológicos y el programa de usuario. El proyecto creado se carga en la CPU. Las funciones online y de diagnóstico del TIA Portal permiten probar el programa de usuario y diagnosticar el hardware.

➤ *Objetos tecnológicos*



Los objetos tecnológicos **representan objetos reales** (p. ej., un eje) en el controlador. Las funciones de los objetos tecnológicos se llaman con las instrucciones de Motion Control en el programa de usuario. Estas funciones se ejecutan en los bloques de organización para Motion Control, independientemente del programa de usuario. Los objetos tecnológicos controlan o regulan el movimiento de los objetos reales y proporcionan información de estado (p. ej. la posición actual).

La configuración de los objetos tecnológicos representa las características de los objetos reales. Los datos de configuración se guardan en un bloque de datos tecnológico.

Para Motion Control están disponibles los siguientes objetos tecnológicos:

Símbolo	Objeto tecnológico	Descripción
	Eje de velocidad de giro	El objeto tecnológico Eje de velocidad de giro ("TO_SpeedAxis") sirve para especificar la velocidad de giro de un accionamiento. El movimiento del eje se programa con instrucciones de Motion Control.
	Eje de posicionamiento	El objeto tecnológico Eje de posicionamiento ("TO_PositioningAxis") sirve para posicionar un accionamiento con regulación de posición. Con las instrucciones de Motion Control se envían órdenes de posicionamiento al eje desde el programa de usuario.
	Eje sincronizado	El objeto tecnológico Eje sincronizado ("TO_SynchronousAxis") contiene todas las funciones del objeto tecnológico Eje de posicionamiento. Además, el eje se puede conectar a un valor conductor de modo que siga la variación de la posición de un eje conductor en sincronismo.
	Sustituto del eje conductor (S7-1500T)	El objeto tecnológico Sustituto del eje conductor ("TO_LeadingAxisProxy") representa el eje conductor para el sincronismo local en una CPU en caso de sincronismo de varios PLC. El sustituto del eje conductor evalúa el telegrama de valor conductor y proporciona el valor conductor externo para los ejes sincronizados locales.
	Encóder externo	El objeto tecnológico Encóder externo ("TO_ExternalEncoder") determina una posición y la pone a disposición del controlador. La posición determinada puede evaluarse en el programa de usuario.
	Detector	El objeto tecnológico Detector ("TO_MeasuringInput") detecta posiciones reales de forma rápida, precisa y en función de eventos.
	Leva	El objeto tecnológico Leva ("TO_OutputCam") genera señales de conmutación en función de la posición de un eje o de un encóder externo. Las señales de conmutación se pueden evaluar en el programa de usuario o conectar a salidas digitales.
	Pista de levas	El objeto tecnológico Pista de levas ("TO_CamTrack") genera una secuencia de señales de conmutación en función de la posición de un eje o de un encóder externo. En este proceso se superponen hasta 32 levas individuales y se emiten las señales de conmutación como pista. Las señales de conmutación se pueden evaluar en el programa de usuario o conectar a salidas digitales.
	Perfil de levas (S7-1500T)	El objeto tecnológico Perfil de levas especifica una función de sincronismo $f(x)$ a través de la cual se acoplan el eje conductor y el eje conducido en caso de sincronismo por perfil de levas. La función $f(x)$ se define mediante puntos de interpolación o segmentos. Los rangos que faltan se interpolan. El objeto tecnológico Perfil de levas del tipo "TO_Cam" puede abarcar hasta 1000 puntos y 50 segmentos. El objeto tecnológico Perfil de levas del tipo "TO_Cam_10k" puede abarcar hasta 10 000 puntos y 50 segmentos.
	Cinemática (S7-1500T)	El objeto tecnológico Cinemática ("TO_Kinematics") se utiliza para conectar los ejes de posicionamiento y los ejes sincronizados a una cinemática. En la configuración del objeto tecnológico Cinemática se interconectan los ejes conforme al tipo de cinemática configurada.

Figura 3-15. Objetos tecnológicos de Motion Control.

➤ *Bloque de datos tecnológico*



Las características de los objetos reales se configuran con los objetos tecnológicos y se guardan en un bloque de datos tecnológico. El bloque de datos tecnológico contiene todos los datos de configuración, consignas y valores reales, además de información sobre el estado del objeto tecnológico. El TIA Portal genera automáticamente el bloque de datos tecnológico al crear el objeto tecnológico. A los datos del bloque de datos tecnológico se accede en lectura y en escritura desde el programa de usuario.

➤ *Instrucciones de Motion Control*



Con las instrucciones de Motion Control se ejecutan las funciones deseadas en los objetos tecnológicos. Las instrucciones de Motion Control están disponibles en el TIA Portal en "Instrucciones > Tecnología > Motion Control". Las instrucciones pueden llamarse en todos los niveles de ejecución. Bloque de datos tecnológico.

➤ *Programa de Usuario*

Las instrucciones de Motion Control y el bloque de datos tecnológico representan las interfaces de programación de los objetos tecnológicos. Con las instrucciones de Motion Control se dan órdenes de Motion Control a los objetos tecnológicos en el programa de usuario. Los objetos tecnológicos procesan las órdenes de los bloques de organización de Motion Control, que se llaman independientemente del programa de usuario, y notifican el estado actual a la instrucción de Motion Control. Cada vez que se llama la instrucción de Motion Control se indica el estado actual de la orden en curso en los parámetros de salida de la instrucción de Motion Control. Mediante el bloque de datos tecnológico se consulta información sobre el estado del objeto tecnológico y se modifican determinados parámetros de configuración durante la ejecución.

➤ *Accionamientos y encoders*

Los accionamientos hacen que el eje se mueva. Se integran en la configuración hardware. Cuando se ejecuta una orden de Motion Control en el programa de usuario, el objeto tecnológico se encarga de controlar el accionamiento y de leer los valores de los encoders. Los accionamientos y encoders compatibles con PROFIdrive se conectan a través de telegramas PROFIdrive. Son posibles las siguientes conexiones:

- PROFINET IO
- PROFIBUS DP
- Módulo tecnológico (TM)
- SINAMICS Integrated (SIMATIC Drive Controller)

Los accionamientos con interfaz de consigna analógica se conectan a través de una salida analógica (AQ) y una señal de habilitación opcional. Las entradas y salidas analógicas se ponen a disposición por medio de módulos de E/S.

Un accionamiento también se denomina actuador y un encoder, sensor.

La figura siguiente muestra un ejemplo de configuración en el que todos los componentes están conectados a la CPU a través de PROFINET IO:

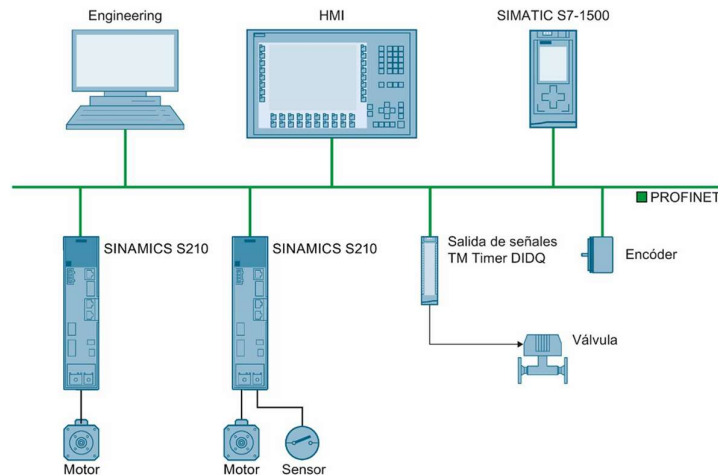


Figura 3-16. Configuración PROFINET IO.

Componentes del Motion Control de Siemens

- PLC (Controlador Lógico Programable): Los PLCs, como el S7-1500 de Siemens, son cerebros programables que reciben y procesan señales de entrada para controlar dispositivos de salida. En el Motion Control, el PLC ejecuta el software de control de movimiento que coordina las acciones de los motores.
- Variadores de Velocidad: Los variadores de velocidad, como el SINAMICS G120, regulan la velocidad y el torque de los motores eléctricos. Estos dispositivos convierten la energía eléctrica de la red en una forma que el motor puede utilizar para operar a diferentes velocidades.
- Motores Eléctricos: Motores síncronos o asíncronos que realizan el trabajo físico. Los motores están conectados a los variadores de velocidad que ajustan su operación según las señales de control enviadas por el PLC.
- Software de Programación: TIA Portal es la plataforma de ingeniería que permite programar y configurar el sistema de Motion Control. Incluye herramientas específicas para diseñar y simular movimientos complejos.

¿Cómo Funciona?

- » Programación: Se programa el PLC utilizando bloques de función específicos para el control de movimiento (por ejemplo, MC_Power, MC_MoveVelocity, MC_Reset, etc.). Estos bloques facilitan la implementación de tareas de control de movimiento como posicionamiento, velocidad constante y perfiles de movimiento.
- » Configuración de Variadores y Motores: Se configuran los variadores de velocidad y motores en el TIA Portal para que se comuniquen con el PLC. Esto incluye la parametrización de los dispositivos para que respondan correctamente a las señales de control.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- » Ejecución del Movimiento: El PLC ejecuta el programa de control de movimiento, enviando comandos a los variadores de velocidad que ajustan la operación de los motores según los requerimientos del proceso.
- » Monitoreo y Ajuste: El sistema incluye herramientas para monitorear el desempeño del movimiento y realizar ajustes en tiempo real, asegurando que el proceso se mantenga dentro de los parámetros deseados.

Ventajas del Motion Control de Siemens

- Precisión y Eficiencia: Permite un control muy preciso de la velocidad, posición y torque de los motores, lo cual es crucial para aplicaciones industriales complejas.
- Integración y Simplicidad: TIA Portal ofrece una plataforma unificada para la ingeniería, programación y operación, lo que simplifica el diseño y la gestión del sistema de control.
- Flexibilidad: Soporta una amplia gama de aplicaciones, desde simples controladores de velocidad hasta complejas tareas de posicionamiento y sincronización de ejes.
- Mejora en el Rendimiento: La capacidad de ajustar y optimizar los movimientos en tiempo real contribuye a una mayor eficiencia energética y reducción de costos operativos.
- Seguridad: Incluye funcionalidades avanzadas de seguridad que aseguran una operación segura para los operarios y los equipos, minimizando el riesgo de fallos y accidentes.

¿Por Qué es una Buena Alternativa para el Control de Motores?

El Motion Control de Siemens es una excelente opción debido a su capacidad para manejar una variedad de aplicaciones con alta precisión y fiabilidad. Su integración en la plataforma TIA Portal permite una fácil configuración y operación, reduciendo el tiempo de puesta en marcha y mantenimiento. Además, su enfoque en la eficiencia y seguridad lo convierte en una solución ideal para entornos industriales donde el control preciso del movimiento es esencial.

En resumen, el Motion Control de Siemens es una herramienta poderosa para la automatización industrial, que combina hardware y software avanzado para proporcionar un control de movimiento eficiente, preciso y seguro.

Para utilizar el Motion Control seguiremos la siguiente guía presentada en un documento oficial de Siemens.

Guía para el uso de Motion Control (S7-1500, S7-1500T)

La guía aquí descrita muestra el procedimiento básico para utilizar Motion Control con la CPU S7-1500.

Para utilizar Motion Control con la CPU S7-1500, proceda del siguiente modo:

- 1. Agregar el objeto tecnológico***
- 2. Trabajar con el editor de configuración***

3. Programar

4. Cargar en la CPU

5. Test de funcionamiento en la ventana de puesta en marcha

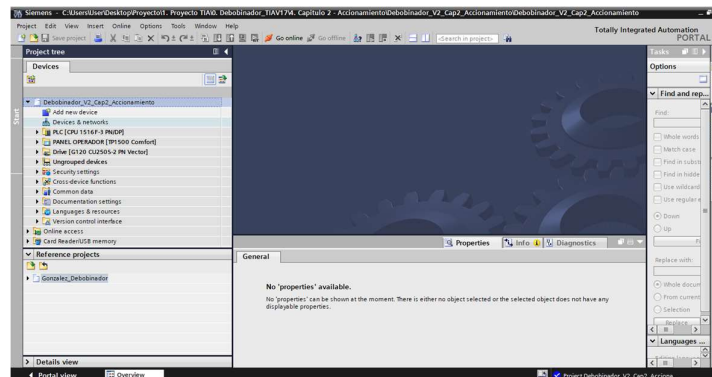
6. Diagnóstico

Procedemos ahora con la explicación de cada paso:

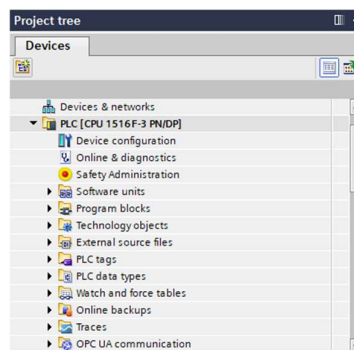
1. Agregar el objeto tecnológico

Para agregar un objeto tecnológico, proceda del siguiente modo:

- a) Abra la carpeta de la CPU en el árbol del proyecto.



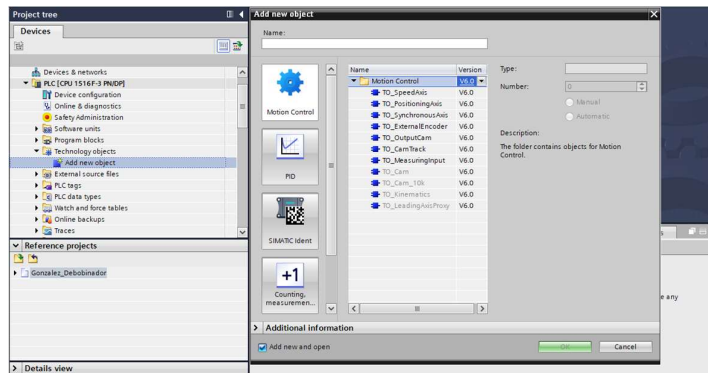
- b) Abra la carpeta "Objetos tecnológicos".



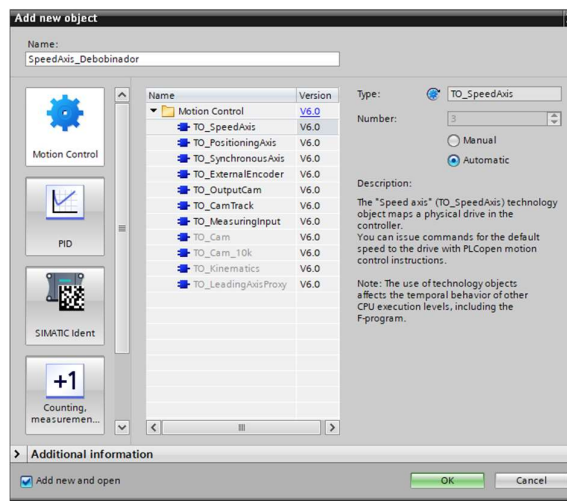
- c) Haga doble clic en "Agregar objeto".

Se abre el cuadro de diálogo "Agregar objeto".

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía



- d) Seleccione el objeto tecnológico deseado. En la descripción que aparecerá puede consultar la función del objeto tecnológico.



Para nuestro caso, utilizaremos el Objeto Tecnológico (OT) “Eje de Velocidad de Giro”. Este OT calcula consignas de velocidad de giro teniendo en cuenta las especificaciones dinámicas y las transfiere al accionamiento. Todos los movimientos del eje de velocidad de giro están controlados por la velocidad de giro. El sistema tiene en cuenta la existencia de un reductor de carga.

A cada eje de velocidad de giro se le asigna un **accionamiento** mediante una trama PROFdrive o mediante una interfaz de consigna analógica.

La figura siguiente muestra el principio de funcionamiento del objeto tecnológico Eje de velocidad de giro:

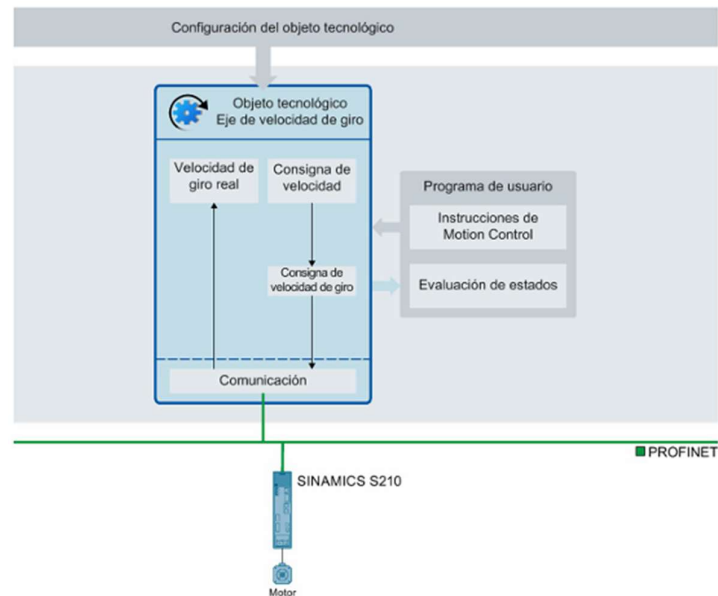


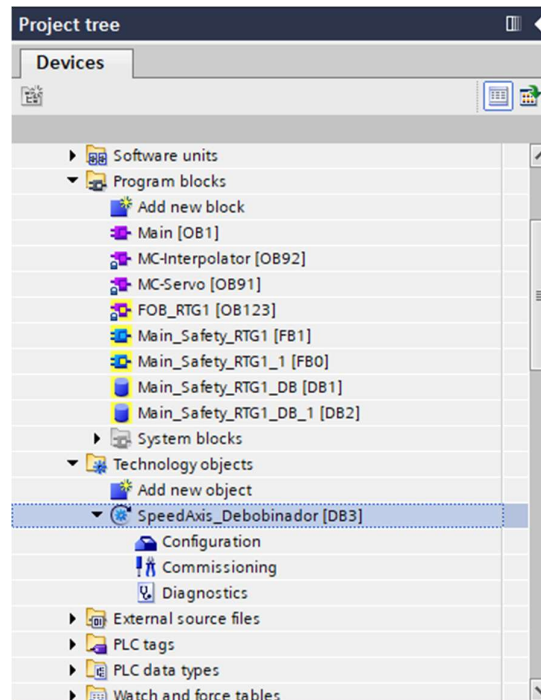
Figura 3-17. Principio de funcionamiento del OT "Eje Velocidad de Giro".

- e) Si agrega un objeto tecnológico leva, Pista de levas Detector, seleccione el objeto tecnológico superior en la lista desplegable "Eje asignado o encoder externo". No es nuestro caso.
- f) Adapte el nombre a sus necesidades en el campo de entrada "Nombre".
- g) Para modificar el número del bloque de datos propuesto, seleccione la opción "Manual".
- h) Para añadir información propia sobre el objeto tecnológico, haga clic en "Más información".
- i) Para abrir la configuración después de agregar el objeto tecnológico, active la casilla de verificación "Agregar y abrir".
- j) Para agregar el objeto tecnológico, haga clic en el botón "Aceptar".

Resultado

Se ha generado el nuevo objeto tecnológico y se ha creado en la carpeta "Objetos tecnológicos" del árbol del proyecto.

Si todavía no existían los bloques de organización "MC-Servo" y "MC-Interpolator", se habrán agregado.



2. Trabajar con el editor de configuración

Las propiedades de un objeto tecnológico se configuran en la ventana de configuración. Para abrir la ventana de configuración del objeto tecnológico en la vista del proyecto, proceda del siguiente modo:

- a) En el árbol del proyecto, abra el grupo "Objetos tecnológicos" del dispositivo.
- b) Seleccione el objeto tecnológico y haga doble clic en "Configuración".

La configuración está dividida en categorías según el tipo de objeto, p. ej., Parámetros básicos, Interfaz de hardware, Parámetros avanzados.

Símbolos del editor de configuración

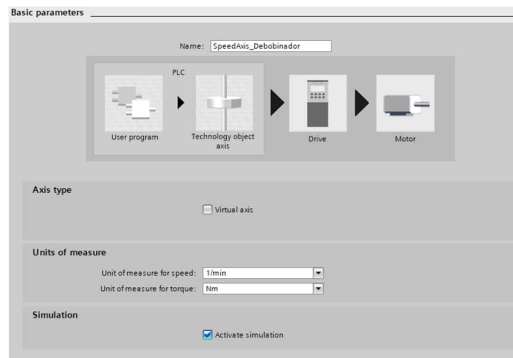
Los símbolos que aparecen en la navegación local de la configuración muestran más detalles sobre el estado de la configuración:

Símbolo	Descripción
✔	La configuración contiene valores predeterminados y está completa. La configuración contiene exclusivamente valores predeterminados. Con ellos es posible utilizar el objeto tecnológico sin más modificaciones.
✔	La configuración contiene valores definidos por el usuario o adaptados automáticamente, y está completa. Todos los campos de entrada de la configuración contienen valores válidos y al menos un valor predeterminado ha sido modificado.
✘	La configuración es errónea o está incompleta. Al menos un campo de entrada o una lista desplegable contiene un valor no válido. El campo o la lista desplegable en cuestión se marca en rojo. Al hacer clic en este campo, el roll out con el mensaje de error indica la causa del error.

Configuración mediante el editor

Una vez que tenemos el objeto tecnológico declarado, debemos ahora configurar el mismo utilizando el editor.

Parámetros Básicos



Nombre: Definimos aquí el nombre de nuestro objeto. Esto nos permite utilizar las variables del eje de velocidad de giro en el programa de usuario con este nombre.

Tipo de Eje: Podemos seleccionar si se desea utilizar el eje de forma exclusivamente virtual en la CPU. Este no es nuestro caso.

Unidades de medida: Seleccionamos aquí las unidades de medida a utilizar para la velocidad y el par.

Simulación: Si desea mover un eje real en modo de simulación, active la casilla de verificación "Activar simulación".

En el modo de simulación pueden simularse en la CPU ejes de velocidad de giro, de posicionamiento y sincronizados sin accionamiento ni encoder conectado. A partir de la versión tecnológica V3.0, el modo de simulación también es posible sin configurar una conexión a accionamientos y encoders.

Para el modo de simulación sin hardware conectado a la CPU, el tiempo de arranque de la CPU puede modificarse con el parámetro "Tiempo de parametrización para periferia centralizada y descentralizada". Encontrará este parámetro en las propiedades de la CPU, en la navegación "Arranque".

En nuestro caso, marcaremos la casilla para luego realizar simulaciones del sistema.

Interface de hardware

Drive

Aquí configuramos el tipo y el accionamiento que se desea utilizar.

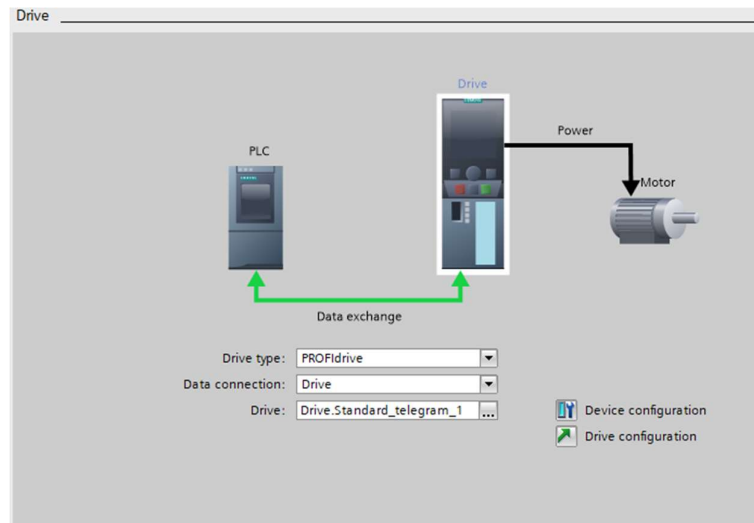
Tipo de accionamiento: Debemos seleccionar si queremos utilizar un tipo de accionamiento PROFIdrive o un accionamiento con conexión analógica.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Los accionamientos PROFIdrive se conectan al controlador a través de un sistema de comunicación digital (PROFINET o PROFIBUS). La comunicación se realiza a través de telegramas PROFIdrive.

Los accionamientos con conexión analógica obtienen la consigna de velocidad de giro a través de una señal de salida analógica (p. ej., de -10 V a $+10\text{ V}$) de la CPU.

En nuestro caso, utilizamos un tipo de accionamiento PROFIdrive.



Intercambio de datos con el accionamiento

Aquí configuramos el intercambio de datos con el accionamiento. Esta configuración varía según el tipo de accionamiento seleccionado:

Para el tipo de accionamiento PROFIdrive, tenemos:

Telegrama de accionamiento: Como ya se menciona antes, utilizamos el Telegrama Estándar 1 para el intercambio de datos.

Aplicar automáticamente los valores del accionamiento durante la configuración (offline): Active la casilla de verificación si desea aplicar los valores offline del accionamiento "Velocidad de giro de referencia", "Velocidad de giro máxima" y "Par de referencia" en la configuración del objeto tecnológico en el proyecto.

Aplicar automáticamente los valores del accionamiento en runtime (online): Active la casilla de verificación si desea aplicar los valores online efectivos en el accionamiento "Velocidad de giro de referencia", "Velocidad de giro máxima" y "Par de referencia" en tiempo de ejecución en la CPU. El bus adopta los parámetros del accionamiento después de (re)inicializar el objeto tecnológico o (re)arrancar el accionamiento o la CPU.

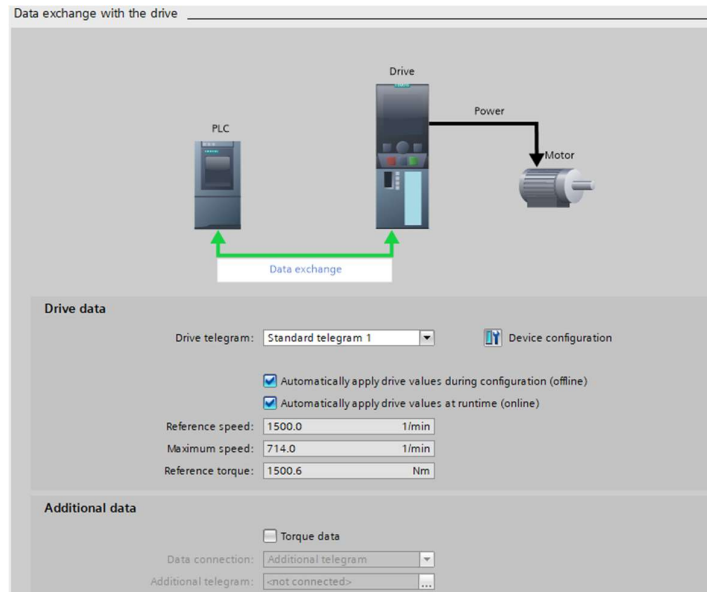
También, se puede sincronizar manualmente los siguientes parámetros:

Velocidad de giro de referencia: Configure en este campo la velocidad de giro de referencia del accionamiento de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Velocidad de giro máxima: Configure la velocidad de giro máxima del accionamiento.

Par de referencia: Configure el par de referencia del accionamiento de acuerdo con su configuración.

En nuestro caso, aplicaremos los valores automáticamente.



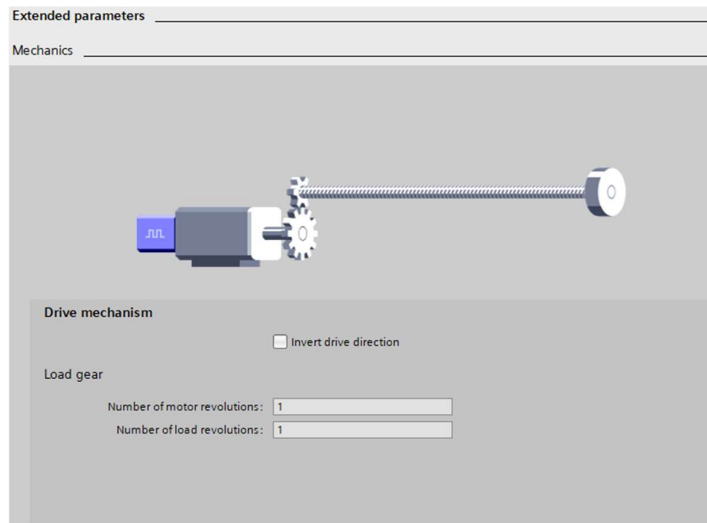
✚ Parámetros avanzados

Mecánica

Acá podemos configurar la mecánica de la carga al accionamiento.

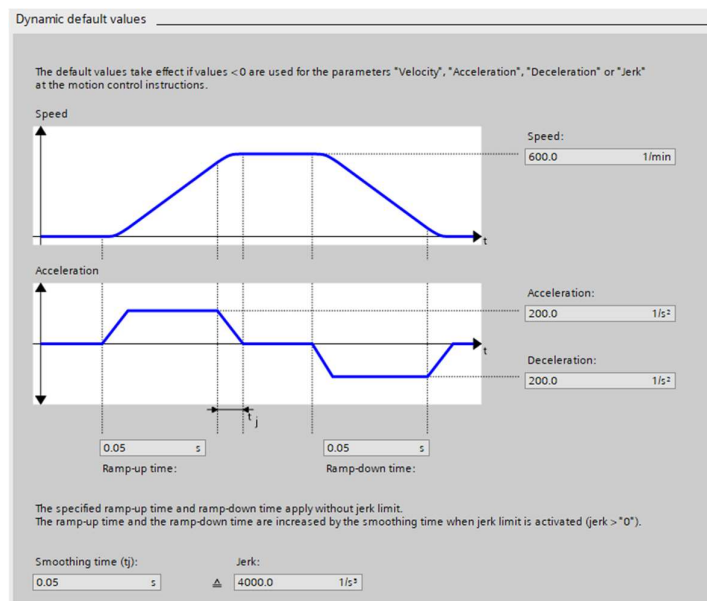
La casilla a marcar permite invertir el sentido del accionamiento si se quiere.

Se nos permite configurar el índice de reducción del reductor de carga, indicado como relación entre vueltas del motor y vueltas de la carga. En nuestro caso, la relación es 1:1.



Valores dinámicos predeterminados

Acá configuraremos los valores predeterminados de velocidad de giro, deceleración, desaceleración y tirón del eje.



Los valores predeterminados son efectivos cuando se han indicado valores < 0 en las instrucciones de Motion Control para los parámetros "Velocity", "Acceleration", "Deceleration" o "Jerk". Los valores predeterminados pueden aplicarse individualmente a cada parámetro citado.

Velocidad de giro: Definir el valor predeterminado para la velocidad de giro del eje.

Aceleracion/Deceleracion – Tiempo de aceleración/tiempo de deceleración: Ajuste el valor predeterminado deseado para la aceleración en los campos "Tiempo de aceleración" o "Aceleración". La deceleración deseada puede ajustarse en los campos "Tiempo de deceleración" o "Deceleración".

La relación entre el tiempo de aceleración y la aceleración o entre el tiempo de deceleración y la deceleración se explica en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Tiempo de aceleración} = \frac{\text{Velocidad de giro}}{\text{Aceleración}}$$

$$\text{Tiempo de deceleración} = \frac{\text{Velocidad de giro}}{\text{Deceleración}}$$

Nota

Un cambio de la velocidad de giro influye en los valores de aceleración y deceleración del eje. Los tiempos de aceleración y deceleración se mantienen.

Tiempo de redondeo/tirón: Los parámetros para la limitación de tirones se introducen en el campo "Tiempo de redondeo" o "Tirón":

- Ajuste el tirón deseado para la rampa de aceleración y deceleración en el campo "Tirón". El valor 0 significa que la limitación de tirones está desactivada.
- Ajuste el tiempo de redondeo deseado para la rampa de aceleración en el campo "Tiempo de redondeo".

Nota

El valor de tirón es idéntico para la rampa de aceleración y la de deceleración. El tiempo de redondeo efectivo en la rampa de deceleración resulta de las siguientes relaciones:

- aceleración > deceleración En la rampa de deceleración se utiliza un tiempo de redondeo menor que en la rampa de aceleración.
- aceleración < deceleración En la rampa de deceleración se utiliza un tiempo de redondeo mayor que en la rampa de aceleración.
- aceleración = deceleración Los tiempos de redondeo son iguales en la rampa de aceleración y deceleración.

En caso de error, el eje reduce la velocidad con la deceleración de parada de emergencia configurada. En este caso no se tiene en cuenta una limitación de tirones configurada.

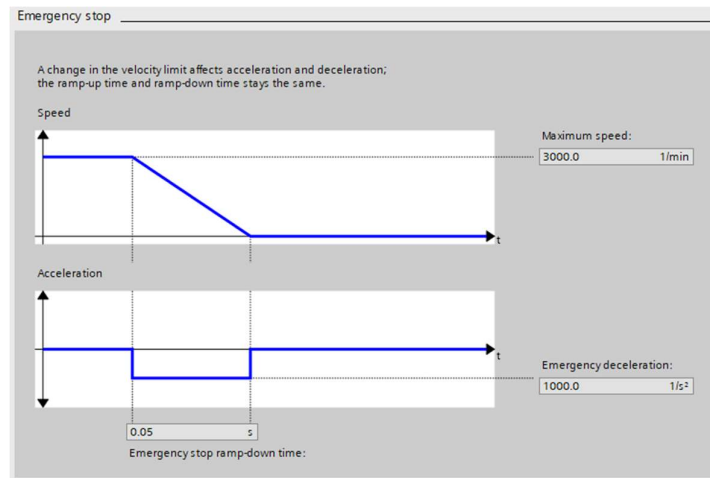
La relación entre los tiempos de redondeo y el tirón se explica en las ecuaciones siguientes:

$$\text{Tiempo de redondeo (rampa de aceleración)} = \frac{\text{Aceleración}}{\text{Tirón}}$$

$$\text{Tiempo de redondeo (rampa de deceleración)} = \frac{\text{Deceleración}}{\text{Tirón}}$$

Parada de Emergencia

En la ventana de configuración "Parada de emergencia" configure la deceleración de parada de emergencia del eje. En caso de fallo y al bloquear el eje con la instrucción "MC_Power" de Motion Control (parámetro de entrada "StopMode" = 0), el eje se para con esta deceleración.



Deceleración de parada de emergencia/Tiempo decel. parada de emergencia: Ajuste el valor de deceleración para parada de emergencia en los campos "Deceleración de parada de emergencia" o "Tiempo de deceleración de parada de emergencia".

La relación entre el tiempo de deceleración de parada de emergencia y la deceleración de parada de emergencia se explica en la siguiente ecuación:

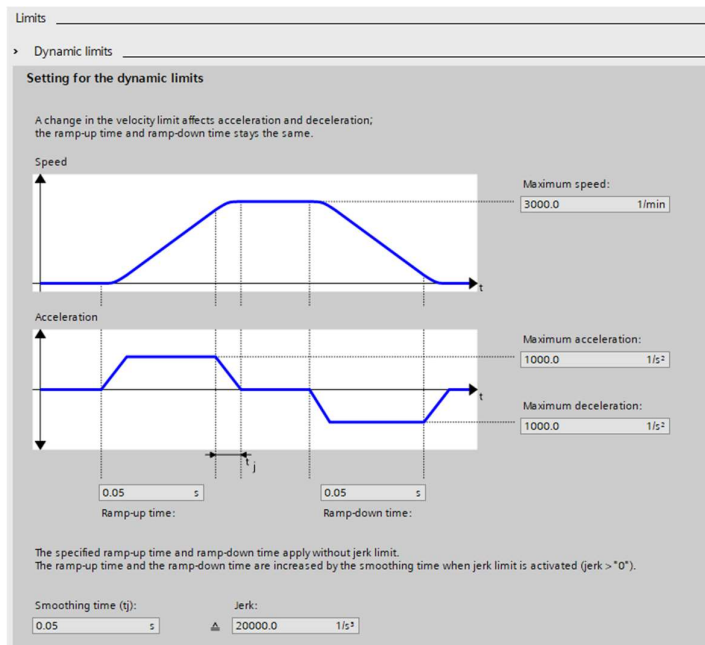
$$\text{Tiempo de deceleración de parada de emergencia} = \frac{\text{Velocidad de giro máxima}}{\text{deceleración de parada de emergencia}}$$

La configuración de la deceleración de parada de emergencia hace referencia a la velocidad de giro máxima configurada del eje. Si se modifica la velocidad de giro máxima del eje, también cambia el valor de la deceleración de parada de emergencia (el tiempo de deceleración de parada de emergencia no cambia).

Limitaciones

Limites dinámicos

Configure los valores máximos de velocidad de giro, aceleración, deceleración y tirón del eje.



Velocidad de giro máxima: Defina en este campo la velocidad de giro máxima permitida del eje.

Aceleración máxima/deceleración máxima - Tiempo de aceleración/tiempo de deceleración: Ajuste la aceleración deseada en los campos "Tiempo de aceleración" o "Aceleración". La deceleración deseada puede ajustarse en los campos "Tiempo de deceleración" o "Deceleración".

La relación entre el tiempo de aceleración y la aceleración o entre el tiempo de deceleración y la deceleración se explica en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Tiempo de posicionamiento} = \frac{\text{Velocidad máxima}}{\text{Aceleración}}$$

$$\text{Tiempo de deceleración} = \frac{\text{Velocidad de giro máxima}}{\text{Deceleración}}$$

Tiempo de redondeo/tirón: Los parámetros para la limitación de tirones se introducen en el campo "Tiempo de redondeo" o "Tirón":

- Ajuste el tirón deseado para la rampa de aceleración y deceleración en el campo "Tirón máximo". El valor 0 significa que el tirón no está limitado.
- Ajuste el tiempo de redondeo deseado para la rampa de aceleración en el campo "Tiempo de redondeo".

Nota:

Valores diferentes de aceleración y deceleración

El tiempo de redondeo ajustado y mostrado en la configuración solo es válido para la rampa de aceleración.

En caso de que los valores de aceleración y deceleración sean distintos, el tiempo de redondeo de la rampa de deceleración se calcula y utiliza de acuerdo con el tirón de la rampa de aceleración.

El tiempo de redondeo de la deceleración se adapta del siguiente modo:

- aceleración > deceleración En la rampa de deceleración se utiliza un tiempo de redondeo menor que en la rampa de aceleración.
- aceleración < deceleración En la rampa de deceleración se utiliza un tiempo de redondeo mayor que en la rampa de aceleración.
- aceleración = deceleración Los tiempos de redondeo son iguales en la rampa de aceleración y deceleración.

En caso de error, el eje reduce la velocidad con la deceleración de parada de emergencia (Página 75) configurada (reacción a alarma "Parada con valores dinámicos máximos"). En este caso no se tiene en cuenta una limitación de tirones configurada.

La relación entre los tiempos de redondeo y el tirón se explica en las ecuaciones siguientes:

$$\textit{T tiempo de redondeo (rampa de aceleracion)} = \frac{\textit{Aceleracion}}{\textit{Tiron}}$$

$$\textit{T tiempo de redondeo (rampa de deceleracion)} = \frac{\textit{Deceleracion}}{\textit{Tiron}}$$

3. Programación

Las instrucciones de Motion Control permiten enviar órdenes al objeto tecnológico desde el programa de usuario. La orden se define utilizando los parámetros de entrada de la instrucción de Motion Control.

En una programación típica, se puede utilizar una o varias instancias para cada instrucción de Motion Control por cada objeto tecnológico.

En el caso de la instrucción "**MC_Power**" de Motion Control, solo debe estar activa una instancia en la secuencia del programa por cada objeto tecnológico. Bloquee el objeto tecnológico con la misma instancia con la que lo ha desbloqueado, ya que de lo contrario se producirá un error con el ID 16#800C.

Otra interfaz adicional hacia el objeto tecnológico es el bloque de datos tecnológico.

3.1. Bloque de datos tecnológicos

Las propiedades de objetos reales (p. ej., ejes) se configuran mediante los objetos tecnológicos y se guardan en un bloque de datos tecnológico. El bloque de datos tecnológico contiene todos los datos de configuración, consignas y valores reales, además de información sobre el estado del objeto tecnológico. El TIA Portal genera automáticamente el bloque de datos tecnológico al crear el objeto tecnológico. A los datos del bloque de datos tecnológico se accede en lectura y en escritura desde el programa de usuario.

Encontrará una lista y una descripción en las variables del objeto tecnológico en cuestión.

Lectura de valores desde el bloque de datos tecnológico

En el programa de usuario es posible leer valores reales (p. ej. posición actual) e información de estado o también detectar mensajes de error en el objeto tecnológico. Si se programa una consulta (p. ej. velocidad actual) en el programa de usuario, el valor se lee directamente del objeto tecnológico.

La lectura de valores desde el bloque de datos tecnológico requiere más tiempo que en otros bloques de datos. Si se utilizan reiteradamente variables en un ciclo del programa de usuario, es recomendable copiar los valores de las variables en variables locales y utilizar estas últimas en el programa.

Escritura de valores en el bloque de datos tecnológico

Mediante la configuración del objeto tecnológico en el TIA Portal se escriben los datos correspondientes en el bloque de datos tecnológico. Después de cargarlos en la CPU, dichos datos están guardados en la SIMATIC Memory Card (memoria de carga) de la CPU.

En el programa de usuario puede ser necesario escribir valores en el bloque de datos tecnológico en los casos siguientes, por ejemplo:

- Adaptación de la configuración del objeto tecnológico (p. ej. límites dinámicos, finales de carrera software)
- Uso de multiplicadores de velocidad (overrides)
- Adaptación de la regulación de posición (p. ej. parámetro "Kv")

Los cambios realizados en valores del bloque de datos tecnológico desde el programa de usuario pueden hacerse efectivos en momentos distintos. La propiedad de cada variable se describe en las variables del objeto tecnológico correspondiente.

3.1.1. Evaluar StatusWord, ErrorWord y WarningWord

Con el fin de utilizar simbólicamente determinadas informaciones de estado y error de las palabras dobles de datos "*StatusWord*", "*ErrorWord*" y "*WarningWord*", es posible evaluarlas tal como se describe a continuación. Para una evaluación coherente deberían evitarse los direccionamientos de bits a estas palabras dobles de datos en el bloque de datos tecnológico. El acceso a un solo bit del bloque de datos tecnológico dura tanto como el acceso a toda la palabra de datos.

En caso necesario, copie la palabra doble de datos requerida en la variable de una estructura de datos y consulte los diferentes bits de la variable.

La asignación de los diferentes bits en las palabras dobles de datos se encuentra en la descripción de las variables del objeto tecnológico correspondiente.

Requisitos

El objeto tecnológico está creado.

Procedimiento

Para evaluar los diferentes bits en la palabra de datos "StatusWord", proceda del siguiente modo:

1. Cree una estructura de datos global. Ponga un nombre a la estructura de datos, p. ej. "Status".
2. Cree una palabra doble (DWORD) en la estructura de datos "Status". Ponga un nombre a la palabra doble, p. ej. "Temp".
3. Cree 32 variables booleanas en la estructura de datos "Status". Para mantener una visión de conjunto clara, ponga a las diferentes variables booleanas el mismo nombre que a los bits del bloque de datos tecnológico (p. ej. ponga el nombre "HomingDone" a la quinta variable booleana).
4. En caso necesario, copie la variable "<TO>.StatusWord" del bloque de datos tecnológico en la palabra doble "Temp" de su estructura de datos.
5. Copie los diferentes bits de la palabra doble "Temp" con accesos a bits en las variables booleanas correspondientes.
6. Consulte los diferentes bits de estado por medio de las variables booleanas.

Evalúe las palabras de datos "ErrorWord" y "WarningWord" conforme a los pasos 1 a 6.

Ejemplo

El ejemplo siguiente explica cómo leer y guardar el quinto bit "HomingDone" de la palabra de datos "StatusWord":

SCL	Explicación
#Status.Temp := "TO".StatusWord;	//Copiar palabra de estado
#Status.HomingDone := #Status.Temp.%X5;	//Copiar el bit concreto para acceso por bits

AWL	Explicación
L "TO".StatusWord	//Copiar palabra de estado
T #Status.Temp	
U #Status.Temp.%X5	//Copiar el bit concreto para acceso por bits
= #Status.HomingDone	

3.2. Instrucciones de Motion Control

3.2.1. Parámetros de las instrucciones de Motion Control

Al crear el programa de usuario, tenga en cuenta las explicaciones siguientes referentes a los parámetros de las instrucciones de Motion Control.

Referencia al objeto tecnológico

El objeto tecnológico se indica en la instrucción de Motion Control del siguiente modo:

- Parámetro "Axis"

En el parámetro de entrada "Axis" de una instrucción de Motion Control se indica una referencia al objeto tecnológico que debe ejecutar la orden correspondiente.

En los siguientes parámetros también se hace referencia al objeto tecnológico correspondiente:

- Parámetro "Master"
- Parámetro "Slave"
- Parámetro "Cam"
- Parámetro "MeasuringInput"
- Parámetro "OutputCam"
- Parámetro "CamTrack"
- Parámetro "AxesGroup"

Tipo de orden y aplicación de los parámetros de entrada de una instrucción de Motion Control

Cuando se inician órdenes y se aplican parámetros modificados se distingue entre las siguientes instrucciones de Motion Control:

- **Instrucciones de Motion Control con el parámetro "Execute"**

Con un flanco ascendente en el parámetro "Execute" se inicia la orden y se aplican los valores presentes en los parámetros de entrada.

Los valores de parámetros modificados con posterioridad no se aplican hasta el inicio de la próxima orden.

La desactivación del parámetro "Execute" no finaliza la orden, pero influye en la duración de visualización del estado de la orden. Mientras "Execute" esté puesto a "TRUE", se actualizarán los parámetros de salida. Si "Execute" se desactiva antes de concluir una orden, los parámetros "Done", "Error" y "CommandAborted" se activarán solo durante un ciclo de llamada.

- **Instrucciones de Motion Control con el parámetro "Enable"**

Al activarse el parámetro "Enable" se inicia la orden.

Mientras "Enable" = TRUE, la orden permanecerá activa y los valores de parámetros modificados se aplicarán respectivamente con la llamada de la instrucción en el programa de usuario.

Al desactivarse el parámetro "Enable" se finaliza la orden.

Los parámetros de entrada "JogForward" y "JogBackward" de la instrucción "MC_MoveJog" de Motion Control equivalen en su comportamiento al parámetro "Enable".

Estado de la orden

Los siguientes parámetros de salida indican el estado de procesamiento de la orden:

- **Instrucciones de Motion Control con el parámetro "Done"**

Si el parámetro "Done" = TRUE, se indica que una orden ha concluido correctamente.

- **Instrucciones de Motion Control sin el parámetro "Done"**

La consecución del objetivo de la orden se indica con otros parámetros (p. ej. "Status", "InVelocity").

- **Parámetro "Busy"**

Mientras se procesa una orden, el parámetro "Busy" presenta el valor "TRUE". Cuando se finaliza o cancela una orden, "Busy" presenta el valor "FALSE".

- **Parámetro "Active"**

Cuando una orden se hace efectiva en el control de movimiento, el parámetro "Active" indica "TRUE". Mientras haya una orden en la cadena de órdenes, "Active" indicará el valor "FALSE".

- **Parámetro "CommandAborted"**

Cuando una orden cancela otra orden, el parámetro "CommandAborted" presenta el valor "TRUE".

- **Parámetro "Error"**

Cuando se produce un error en la instrucción de Motion Control, el parámetro "Error" presenta el valor "TRUE". En el parámetro "ErrorID" se muestra el identificador de error correspondiente.

Mientras el parámetro "Execute" o "Enable" esté puesto a "TRUE", se actualizarán los parámetros de salida. En caso contrario, los parámetros "Done", "Error" y "CommandAborted" se activarán solo durante un ciclo.

Cancelación de las órdenes en curso

Una orden de movimiento en curso se cancela lanzando otra orden de movimiento. En este caso, las consignas dinámicas actuales (aceleración, deceleración, tirón y velocidad) se pondrán a los valores de la orden que la releva.

3.2.2. Inserción de instrucciones de Motion Control

Las instrucciones de Motion Control se insertan en un bloque de programa igual que otras instrucciones. Las instrucciones de Motion Control permiten controlar todas las funciones disponibles del objeto tecnológico. Las instrucciones pueden llamarse en todos los niveles de ejecución.

Requisitos

El objeto tecnológico está creado.

Procedimiento

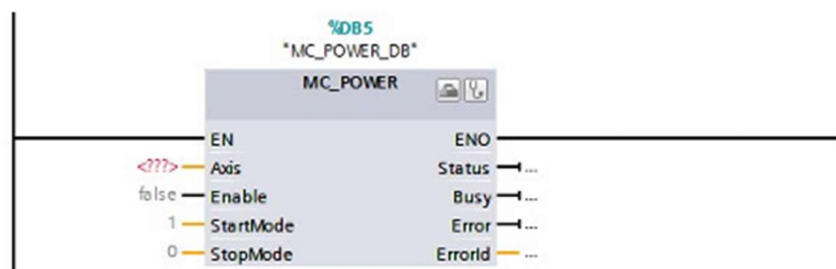
Para insertar las instrucciones de Motion Control en el programa de usuario, proceda del siguiente modo:

1. Haga doble clic en el bloque de programa dentro del árbol del proyecto (el bloque de programa debe llamarse en el programa cíclico).

El bloque de programa se abre en el editor de programación y se muestran las instrucciones disponibles.

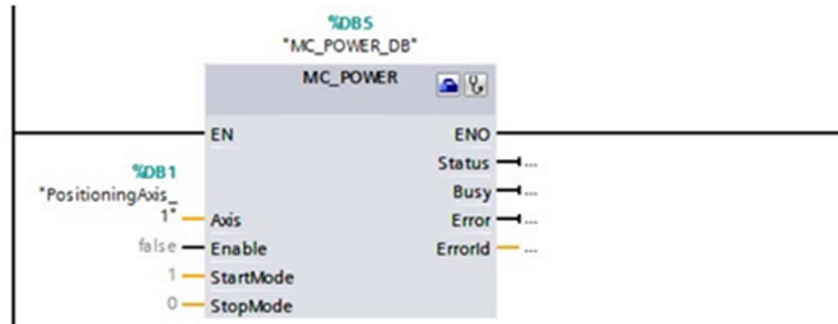
2. Abra la carpeta "Tecnología > Motion Control" en la Task Card "Instrucciones".
3. Utilizando la función de Drag&Drop, arrastre la instrucción de Motion Control, p. ej. "MC_Power", hasta el segmento deseado del bloque de programa. Se abre el cuadro de diálogo "Opciones de llamada".
4. Dentro del cuadro de diálogo, asigne un nombre y un número al bloque de datos de instancia de la instrucción de Motion Control.
5. Haga clic en el botón "Aceptar".

La instrucción "MC_Power" de Motion Control se inserta en el segmento.





El bloque de datos de instancia se crea automáticamente en "Bloques de programa > Bloques de sistema > Recursos de programa".

6. Es necesario suministrar valores a los parámetros de entrada sin valor predeterminado (p. ej., "Axis"). Seleccione el objeto tecnológico en el árbol del proyecto y arrástrelo hasta <...> en el parámetro "Axis" utilizando la función de arrastrar y colocar.



Después de especificar el objeto tecnológico en el parámetro "Axis" estarán disponibles los botones siguientes:

	Para abrir la configuración del objeto tecnológico, haga clic en el icono de la caja de herramientas.
	Para abrir el diagnóstico del objeto tecnológico, haga clic en el icono del estetoscopio.

7. Inserte otras instrucciones de Motion Control siguiendo los pasos 3 a 6.

3.3. Inicio de órdenes de Motion Control

Las órdenes de Motion Control se inician activando el parámetro "Execute" o "Enable" de la instrucción de Motion Control. Las instrucciones de Motion Control deberían llamarse en un nivel de ejecución para un objeto tecnológico.

Al ejecutar órdenes de Motion Control debe considerarse también el estado del objeto tecnológico.

El inicio de las órdenes de Motion Control debe ejecutarse siguiendo los pasos siguientes:

- i. Consultar el estado del objeto tecnológico.
- ii. Lanzar una orden nueva para el objeto tecnológico.
- iii. Comprobar el estado de la orden.

Estos pasos se explican tomando como ejemplo una orden de posicionamiento absoluto.

1. Consultar el estado del objeto tecnológico

Asegúrese de que el objeto tecnológico se encuentra en el estado adecuado para ejecutar la orden deseada:

- **¿Está habilitado el objeto tecnológico?**

Para ejecutar órdenes de movimiento, el objeto tecnológico debe estar habilitado.

La habilitación se lleva a cabo mediante la instrucción "MC_Power" de Motion Control.

El parámetro "MC_Power.Status" (<TO>.StatusWord.X0 (Enable)) debe presentar el valor "TRUE".

- **¿Hay pendiente una alarma tecnológica?**

Para ejecutar órdenes de movimiento no debe haber alarmas tecnológicas o reacciones a la alarma. Las variables "<TO>.ErrorDetail.Number" y "<TO>.ErrorDetail.Reaction" del objeto tecnológico deben indicar el valor cero. Tras solucionar el error, acuse las alarmas presentes con la instrucción de Motion Control "MC_Reset".

Encontrará una lista de las alarmas tecnológicas y las correspondientes reacciones a alarmas en el capítulo "Alarmas tecnológicas" de la documentación "S7-1500/S7-1500T Alarmas e identificaciones de error de Motion Control (Página 12)".

2. Lanzar una orden nueva para el objeto tecnológico

En el parámetro "Position" de una instrucción de Motion Control, p. ej., "MC_MoveAbsolute", indique la posición hasta la que debe moverse el eje. Inicie la orden con un flanco ascendente en el parámetro "Execute".

3. Comprobar el estado de la orden

La conclusión correcta de una orden (en este caso, cuando se alcanza la posición de destino), se indica con el parámetro "Done" de la instrucción de Motion Control. Si se detecta un error, el parámetro "Error" de la instrucción de Motion Control se pone a "TRUE" y la orden se rechaza. Existe la posibilidad de programar una rutina de errores para la orden de Motion Control. Para ello, evalúe un error visualizado en el parámetro "Error". La causa del error se indica en el parámetro "ErrorID". Reinicie la orden tras solucionar la causa del error. Si mientras se procesa la orden "Error" = TRUE y "ErrorID" = 16#8001, se ha producido una alarma tecnológica.

3.4. Seguimiento de órdenes en curso

El estado actual de procesamiento de la orden está disponible en los parámetros de salida de la instrucción de Motion Control. Dichos parámetros se actualizan con cada llamada de la instrucción de Motion Control.

En el seguimiento de órdenes se distinguen tres grupos:

- Instrucciones de Motion Control con el parámetro "Done" (Página 120)
- Instrucciones de Motion Control sin el parámetro "Done" (Página 124)
- Instrucción "MC_MoveJog" de Motion Control (Página 129)

3.4.1. Instrucciones de Motion Control con el parámetro "Done"

Las órdenes de instrucciones de Motion Control con el parámetro "Done" se inician con un flanco ascendente en el parámetro "Execute". Si la orden ha concluido sin errores y sin interrupciones provocadas por otra orden (p. ej., "MC_MoveAbsolute": posición de destino alcanzada), el parámetro "Done" presenta el valor "TRUE".

En las instrucciones de posicionamiento, el parámetro "Done" está retardado en el tiempo mínimo de permanencia ajustado (<TO>.PositioningMonitoring.MinDwellTime).

Las siguientes instrucciones de Motion Control tienen un parámetro "Done" para la CPU S7-1500:

- MC_Reset
- MC_Home
- MC_Halt
- MC_MoveAbsolute
- MC_MoveRelative
- MC_MoveSuperimposed
- MC_SetSensor (S7-1500T)
- MC_Stop

Instrucciones de Motion Control sin el parámetro "Done"

Las instrucciones de Motion Control sin el parámetro "Done" utilizan un parámetro especial para indicar que se ha alcanzado el objetivo de la orden (p. ej., "InVelocity", "InGear"). El estado deseado o el movimiento se mantiene hasta que se interrumpe la orden o se produce un error.

Ejemplo "MC_MoveVelocity"

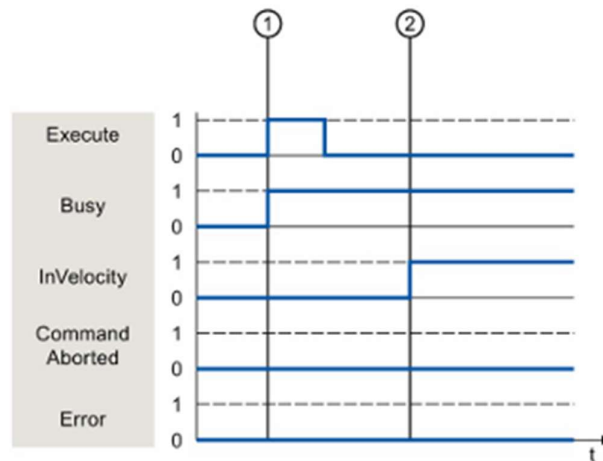
Una orden "MC_MoveVelocity" se inicia con un flanco ascendente en el parámetro "Execute".

El objetivo de la orden se cumple en cuanto se alcanza la velocidad parametrizada y el eje se mueve a velocidad constante. El alcance y mantenimiento de la velocidad parametrizada se indica en el parámetro "InVelocity" con el valor "TRUE".

El movimiento del eje se puede detener, p. ej. con una orden "MC_Halt".

Se alcanza y mantiene la velocidad parametrizada

En cuanto se alcanza la velocidad parametrizada, en el parámetro "InVelocity" se indica el valor "TRUE". El parámetro "Execute" no influye en la duración de visualización del parámetro "InVelocity".



①	La orden se inicia con un flanco ascendente en el parámetro "Execute". Según la programación, "Execute" se puede volver a poner a "FALSE" antes o después de alcanzar la velocidad parametrizada. Mientras se procesa la orden, el parámetro "Busy" presenta el valor "TRUE".
②	Cuando se alcanza la velocidad parametrizada, el parámetro "InVelocity" cambia a "TRUE". Los parámetros "Busy" y "InVelocity" se mantienen en el valor "TRUE" hasta que la orden "MC_MoveVelocity" es relevada por otra orden de Motion Control.

3.4.2. Instrucción "MC_MoveJog" de Motion Control

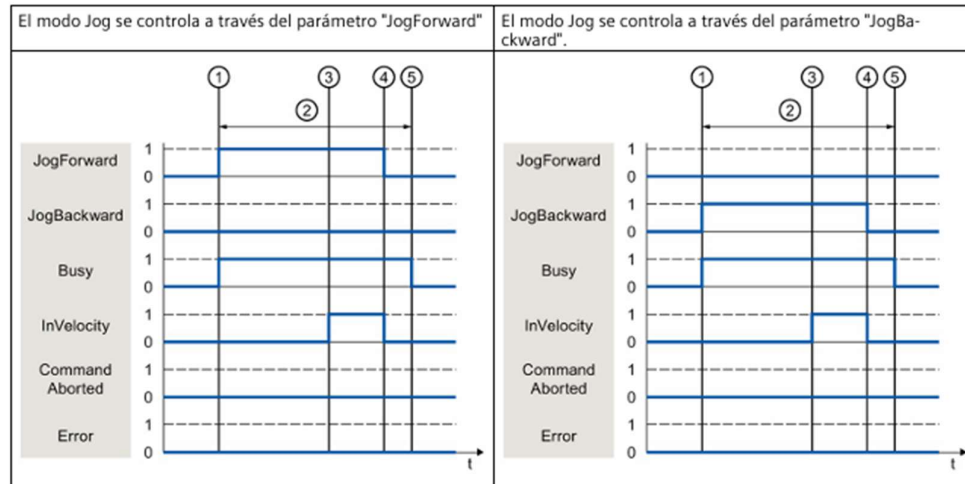
Una orden "MC_MoveJog" se inicia al activarse el parámetro "JogForward" o "JogBackward". El objetivo de la orden se cumple en cuanto se alcanza la velocidad parametrizada y el eje se mueve a velocidad constante. El alcance y mantenimiento de la velocidad parametrizada se indica en el parámetro "InVelocity" con el valor "TRUE".

La orden finaliza en cuanto al parámetro "JogForward" o "JogBackward" se pone al valor "FALSE" y el eje se para por completo.

A continuación, se muestra el comportamiento de los parámetros tomando como ejemplo diversas situaciones.

Se alcanza y mantiene la velocidad parametrizada

Si la orden de Motion Control se ejecuta hasta alcanzar la velocidad parametrizada, ello se indica en el parámetro "InVelocity" con el valor "TRUE".



①	La orden se inicia al activarse el parámetro "JogForward" o "JogBackward".
②	Mientras se procesa la orden, el parámetro "Busy" presenta el valor "TRUE".
③	Cuando se alcanza la velocidad parametrizada, el parámetro "InVelocity" cambia a "TRUE".
④	El movimiento del eje finaliza en cuanto se desactiva el parámetro "JogForward" o "JogBackward". El eje se frena. El parámetro "InVelocity" cambia a "FALSE".
⑤	En cuanto el eje se para, la orden de Motion Control finaliza y el parámetro "Busy" cambia a "FALSE".

4. Carga en CPU

Con la carga en la CPU S7-1500 se asegura siempre que los datos de proyecto sean coherentes tras la carga tanto online como offline.

Los datos de los objetos tecnológicos se guardan en bloques de datos tecnológicos. Para cargar objetos tecnológicos nuevos o modificados rigen por lo tanto las condiciones para la carga de bloques.

Cargar en estado operativo RUN

Al cargar en estado operativo RUN de la CPU se comprueba si es posible cargar sin reinicializar el objeto tecnológico.

Si se han modificado valores de configuración relevantes para el reinicio, tras la carga en la CPU el objeto tecnológico se reinicia automáticamente.

Solo es posible cargar un objeto tecnológico si está bloqueado.

Los cambios siguientes no pueden cargarse en la CPU en estado operativo RUN:

- Cambios de los ciclos de reloj del MC-Servo.
- Cambios en la interfaz de hardware del objeto tecnológico, en "Objeto tecnológico > Configuración > Interfaz de hardware".

5. Puesta en marcha

La guía siguiente describe los pasos que deben tenerse en cuenta al poner en marcha los equipos específicos de Motion Control.

5.1 Guía de puesta en marcha

La presente guía sirve de referencia para la puesta en marcha de una instalación con Motion Control. El procedimiento se describe tomando como ejemplo un objeto tecnológico Eje de posicionamiento.

Requisito

- La configuración de los componentes siguientes se ha terminado: – CPU – Comunicación BUS – Accionamientos – Objetos tecnológicos
- El programa de usuario está creado.
- El cableado de la CPU y la periferia correspondiente está terminado.
- La puesta en servicio y optimización del accionamiento está terminada.

Procedimiento

Para poner en servicio las unidades de proceso específicas de Motion Control, proceda del siguiente modo:

Paso	Acción	Soportada por el TIA Portal
Conectar CPU	Conecte la alimentación y la CPU.	-
"Desactivar" el regulador de posición	Ponga a cero la ganancia del lazo de regulación de posición (factor Kv). (Sirve para evitar movimientos no intencionados del accionamiento a causa de posibles errores de parametrización en el lazo de regulación de posición.)	"Objeto tecnológico > Configuración > Parámetros avanzados > Lazo de regulación"
Activar precontrol	Ajuste el precontrol al 100 %.	"Objeto tecnológico > Configuración > Parámetros avanzados > Lazo de regulación"
Paso	Acción	Soportada por el TIA Portal
Cargar proyecto en la CPU	Ponga la CPU al estado operativo STOP. Cargue el proyecto en la CPU (cargar hardware y software).	<ul style="list-style-type: none"> • "Barra de herramientas > Parar CPU" • "Barra de herramientas > Cargar en dispositivo"
Establecer una conexión online con la CPU	En "Online y Diagnóstico > Accesos online" active la casilla de verificación "Recibir avisos". Configure la interfaz del TIA Portal y establezca una conexión online con la CPU.	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración del dispositivo • "Online y diagnóstico > Accesos online"
Desactivar un programa de usuario específico de Motion Control	Para evitar conflictos con el panel de mando del eje, bloquee la habilitación de los objetos tecnológicos en el programa de usuario (MC_Power.Enable = FALSE).	<ul style="list-style-type: none"> • Programación PLC • Instrucciones de Motion Control
Evaluar avisos pendientes	Evalúe el visor de avisos en la ventana de inspección. Solucione las causas de las alarmas tecnológicas pendientes. Acuse las alarmas tecnológicas.	"Ventana de inspección > Diagnóstico > Visor de avisos"
Comprobar finales de carrera por hardware	Pulse los finales de carrera por hardware. Compruebe que el visor de avisos sea correcto (alarma tecnológica 531). Acuse la alarma tecnológica.	"Ventana de inspección > Diagnóstico > Visor de avisos"
Comprobar la conexión y configuración del accionamiento (consigna)	Ponga la CPU al estado operativo RUN. Abra el Panel de mando del eje y tome el control. Realice los pasos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Habilite el objeto tecnológico. ⇒ El accionamiento tiene que conectarse y, dado el caso, soltar el freno. La posición se mantiene. • Mueva el eje en sentido positivo en modo Jog a velocidad reducida. ⇒ El accionamiento tiene que moverse. El valor real de posición debe aumentar (sentido positivo). • Bloquee el objeto tecnológico. ⇒ El accionamiento tiene que desconectarse y, dado el caso, cerrar el freno. 	"Objeto tecnológico > Puesta en marcha > Panel de mando del eje"

Paso	Acción	Soportada por el TIA Portal
Comprobar la conexión y configuración del encóder (valor real)	<ul style="list-style-type: none"> Compruebe la escala de los valores reales (sentido de giro, valoración del recorrido y resolución del encóder). ⇒ El cambio mecánico real de la posición debe coincidir con el cambio de los valores reales. Si hay diferencias, corrija la parametrización del sistema mecánico en "Objeto tecnológico > Parámetros avanzados > Mecánica". En el caso de los encoders absolutos, compruebe el ajuste del encóder absoluto. Para ello, desplace el eje al inicio del rango de desplazamiento y desconecte la instalación. Tras el arranque de la instalación, compruebe que los valores reales del encóder sean correctos. Repita este paso al final del rango de desplazamiento. En caso de diferencias, corrija lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> Ajustes para la resolución fina en "Objeto tecnológico > Intercambio de datos encóder" Posición del paso por cero del encóder (solo con el tipo de encóder "Absoluto") <p>La posición del paso por cero puede modificarse girando el encóder desmontado. Los encoders programables permiten ajustar el paso por cero mediante parametrización. El paso por cero debe encontrarse fuera del rango de desplazamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> "Objeto tecnológico > Diagnóstico > Telegrama PROFIdrive" "Objeto tecnológico > Puesta en marcha > Panel de mando del eje"
Comprobar la velocidad de giro de referencia	<p>Mueva el eje en sentido positivo en modo Jog a velocidad reducida. ⇒ La velocidad actual visualizada debe coincidir con la consigna de velocidad.</p> <p>Si la velocidad actual indicada difiere considerablemente de la consigna de velocidad, adapte la velocidad de giro de referencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> "Objeto tecnológico > Interfaz de hardware > Intercambio de datos" "Objeto tecnológico > Puesta en marcha > Panel de mando del eje"
Optimizar el regulador de posición	Determine la ganancia óptima Kv del lazo de regulación de posición con la función de puesta en marcha Optimización. Adapte para ello los límites de error de seguimiento si fuera necesario.	"Objeto tecnológico > Puesta en marcha > Optimización"
Aplicar la ganancia Kv en el proyecto.	Introduzca en la configuración la ganancia Kv determinada con la función de optimización. Cargue el proyecto en la CPU.	"Objeto tecnológico > Configuración > Parámetros avanzados > Lazo de regulación"
Activar un programa de usuario específico de Motion Control	Elimine el bloqueo de habilitación de los objetos tecnológicos en el programa de usuario (MC_Power.Enable = TRUE).	<ul style="list-style-type: none"> Programación PLC Instrucciones de Motion Control
Comprobar el funcionamiento del programa de usuario	Compruebe las funciones programadas en el programa de usuario.	<ul style="list-style-type: none"> Tablas de observación y forzado permanente Funciones Online y diagnóstico
Fin de la puesta en servicio para un objeto tecnológico Eje de posicionamiento	Vuelva a realizar los pasos descritos para poner en servicio otros objetos tecnológicos.	Véase más arriba.

6. Diagnostico

Encontrará la descripción del concepto de diagnóstico de Motion Control en el Manual de funciones "Alarmas e identificadores de error" que se utilizará para desarrollar el siguiente capítulo.

[Alarmas e Identificadores de error - Motion Control.pdf](#)

Desarrollo del Programa del Debobinador

Ahora, aplicamos todo lo desarrollado anteriormente para realizar la programación del control de nuestra máquina. Lo que haremos será utilizar diversos bloques de control con el aporte del Motion Control para lograr un control eficiente, seguro y preciso del debobinador.

A continuación, se describirá brevemente cual es la acción de cada bloque y como se organiza el funcionamiento.

o *FC – Debobinador_Estimador Radio*

Este FC realiza cálculos en tiempo real para estimar el radio actual de la bobina. Utiliza datos de la Velocidad Lineal (V) Actual del Aplanador y la Velocidad Angular (ω) Actual del Debobinador para realizar el cálculo del tamaño de la bobina en todo momento. Para ello utiliza la siguiente relación:

$$r_{bobina} = \frac{V}{\omega}$$

○ **FC – Debobinador_Comandos**

Este FC contiene la lógica principal de accionamiento del debobinador. Se encarga de procesar comandos de inicio, paro y ajuste de velocidad. Controla el funcionamiento general del sistema.

○ **FC – Debobinador_Control de Tiro**

Este bloque se especializa en el control del tiro ejercido por la máquina. Ajusta la tensión del material desenrollado para mantenerla dentro de los límites predefinidos, garantizando un desenrollado controlado y uniforme. Para ello, se utiliza un bloque SinaPara que escribe directamente los parámetros requeridos en el Drive y realiza un control de Torque.

○ **FC – Debobinador_Control**

Este bloque realiza el control final de la máquina debobinadora. Incorpora la información de los demás bloques para coordinar el accionamiento y el control de tiro, garantizando un desenrollado eficiente y preciso. Es aquí donde se llaman a los bloques de control del Motion Control. Los bloques utilizados son:

- MC_POWER: Activa o desactiva el objeto tecnológico.
- MC_RESET: Acusa todos los avisos tecnológicos que se pueden acusar en el programa de usuario.
- MC_HALT: Con esta instrucción se frena un eje hasta detenerlo.
- MC_MOVEVELOCITY: Se mueve el eje con velocidad constante.
- MC_JOG: Se mueve el eje en modo Jog.

También, se utilizan los bloques “DB_Control_Debobinador” y “DB_ControlTiro” para definir las variables que se utilizan en la programación.

En el programa “Debobinador_Cap3_Control” dentro de cada bloque, en cada línea, se describe de manera más detallada que realiza cada una. Esto no se transcribe en el documento presente para no hacer tan extensa la explicación.

Conclusión

En este capítulo, se ha realizado un análisis detallado del proceso de configuración y diseño del sistema de control del debobinador utilizando el entorno de programación TIA Portal. A lo largo del desarrollo, hemos abordado los aspectos clave del software, como el uso de bloques de control, la implementación de bloques tecnológicos como el SinaPara, y el diseño de un sistema de control vectorial para el motor asíncrono.

Se comenzó exponiendo los fundamentos del TIA Portal, explicando los bloques de programación utilizados y su papel en la programación. El bloque SinaPara demostró ser una herramienta esencial para la escritura directa de parámetros en el Drive, permitiendo un control preciso sobre el torque del motor.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

El enfoque principal del control del motor asíncrono se centró en el control vectorial indirecto de tensión a lazo abierto, una técnica adecuada para la aplicación del debobinador debido a su capacidad para mantener una alta precisión y eficiencia en el control del par y la velocidad. Esto fue respaldado por documentación técnica de Siemens, que guio el diseño y la selección de este método de control.

Además, se abordó la implementación del Motion Control dentro del sistema, lo que permitió una mayor flexibilidad y precisión en el control del movimiento. Los bloques como MC_POWER, MC_RESET, MC_MOVEVELOCITY y MC_JOG resultaron ser indispensables para gestionar el accionamiento y la desaceleración del motor, garantizando un control seguro y eficiente del sistema de desenrollado.

Finalmente, se aplicó todo lo expuesto a la programación específica del debobinador, donde se describió el funcionamiento de los bloques desarrollados para calcular el radio de la bobina, ejecutar comandos, controlar el tiro y coordinar el desenrollado. El uso de estos bloques permite un control preciso del proceso de desenrollado, asegurando la estabilidad y eficiencia del sistema en su conjunto.

En resumen, el diseño y la programación del sistema de control del debobinador se logró de manera eficiente y precisa utilizando las herramientas avanzadas que ofrece el TIA Portal, con un enfoque en el control vectorial y el Motion Control. Esto sienta una base sólida para la implementación final del sistema y garantiza un funcionamiento seguro y eficiente en el entorno industrial.

Capítulo IV: Configuración del sistema de regeneración de energía.

En la actualidad, la eficiencia energética y la sostenibilidad son factores esenciales en los sistemas industriales y de automatización. Uno de los avances más significativos en la gestión de energía es la regeneración de energía de los motores eléctricos a la red. Esta técnica permite que la energía excedente generada durante el proceso de frenado de motores se recupere y se devuelva a la red eléctrica, en lugar de disiparse en forma de calor, lo que contribuye significativamente a la reducción de costos y al mejor aprovechamiento de los recursos energéticos.

En este capítulo, se llevará a cabo la configuración del sistema de regeneración de energía utilizando el drive Siemens G120 en combinación con la Unidad de Control CU 250. Este dispositivo nos brinda la capacidad de controlar la energía generada durante los procesos de frenado del motor de inducción y su reintegración a la red eléctrica, aprovechando la tecnología de los variadores de frecuencia que permiten este tipo de operación.

A lo largo de este capítulo, describiremos el proceso de configuración del sistema para permitir la regeneración de energía. Logrando así, no solo un control eficiente y preciso del motor, sino que también se maximiza el ahorro energético, lo que representa una contribución directa a la sostenibilidad y la competitividad de los procesos industriales.

Frenado eléctrico del motor

Potencia en régimen generador

Cuando el motor frena eléctricamente la carga y la potencia mecánica excede las pérdidas eléctricas, entonces funciona como generador. El motor transforma entonces la energía mecánica en energía eléctrica recuperable.

Cuando el motor trabaja en régimen generador, entonces puede devolver energía al convertidor.

Características principales de las funciones de frenado

- Frenado por corriente continua

El frenado por corriente continua impide que el motor funcione como generador. El convertidor inyecta una corriente continua al motor. Dicha corriente continua frena el motor. El motor transforma la potencia mecánica de la carga en calor.

- Ventaja: el motor frena la carga sin que el convertidor tenga que procesar potencia regenerada.
- Desventajas: intenso calentamiento del motor; ningún comportamiento de frenado definido; no hay par de frenado constante; ningún par de frenado en parada; se pierde potencia generadora en forma de calor; no funciona en caso de fallo de la red.

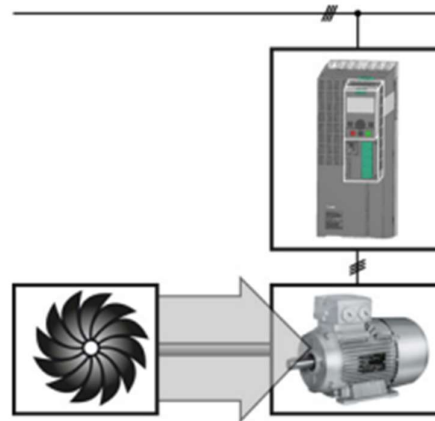


Figura 4-1. Frenado por corriente continua.

- Frenado combinado

Es una variante del frenado por corriente continua. El convertidor frena el motor con un tiempo de deceleración definido e inyecta una corriente continua a la intensidad de salida.

- Frenado por resistencia

El convertidor transforma la potencia generadora en calor con ayuda de una resistencia de freno.

- Ventajas: comportamiento de frenado definido; no hay calentamiento adicional del motor; par de freno constante; funciona principalmente incluso en caso de fallo de la red.
- Desventajas: resistencia de freno necesaria; se pierde potencia generadora en forma de calor

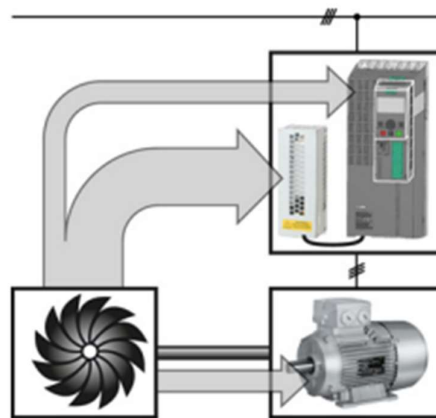


Figura 4-2. Frenado por corriente combinado.

- Frenado con realimentación a la red

El convertidor realimenta la potencia generadora a la red.

- *Ventajas:* Par de freno constante; la potencia en régimen generador no se transforma completamente en calor, sino que se realimenta a la red; puede utilizarse en todas las

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

aplicaciones; un régimen generador sostenido es posible, p. ej. al bajar una carga suspendida.

- *Desventaja:* No funciona en caso de fallo de la red.

¿Qué método de frenado resulta adecuado para cada aplicación?

Ejemplos de aplicación	Método de frenado eléctrico	Power Module utilizable
Bombas, ventiladores, mezcladoras, compresores, extrusoras	No necesario	PM240, PM340, PM250, PM260
Rectificadoras, cintas transportadoras	Frenado por corriente continua, frenado combinado	PM240, PM340
Centrifugadoras, transportadores verticales, aparatos de elevación, grúas, bobinadores	Frenado por resistencia	PM240, PM340
	Frenado con realimentación a la red	PM250, PM260

Tabla 4-1. Métodos de Frenado.

Aplicaciones típicas para el frenado con realimentación de energía de frenado a la red:

- o Mecanismos de elevación
- o Centrifugadoras
- o Desbobinadoras

En estas aplicaciones, el motor tiene que frenar durante un tiempo prolongado.

El convertidor puede realimentar a la red hasta el 100% de su potencia (referida a la carga básica "High Overload").

Ajuste del frenado con realimentación de energía a la red

Parámetro	Descripción
Limitación de la realimentación en el control por U/f (p1300 < 20)	
p0640	Factor de sobrecarga del motor (ajuste de fábrica: 0,00 A, preajuste en la puesta en marcha básica) En caso de control por U/f tan solo es posible limitar la potencia en régimen generador limitando la intensidad por el motor. Si la intensidad sobrepasa este valor durante más de 10 s, el convertidor desactiva el motor con el fallo F07806.
Limitación de la realimentación en regulación vectorial (p1300 ≥ 20)	
p1531	Limitación de potencia en régimen generador (ajuste de fábrica: 0,01 kW)

Tabla 4-2. Parámetros de ajuste de frenado con realimentación a la red.

Configuración del frenado regenerativo

Como se vio antes, para configurar el frenado regenerativo simplemente tenemos que cambiar el valor del **parámetro p640** que representa el factor de sobrecarga de nuestro motor.

El convertidor puede entregar a la red hasta el 100% de su potencia referida a una carga "High Overload" que está dada por $1,5I_{nom}$ (es decir, 150 % de sobrecarga) durante 57 s con un tiempo de ciclo de 300 s, y $2I_{nom}$ (es decir, 200 % de sobrecarga) durante 3 s con un tiempo de ciclo de 300 s. La grafica siguiente muestra el comportamiento de esta carga:

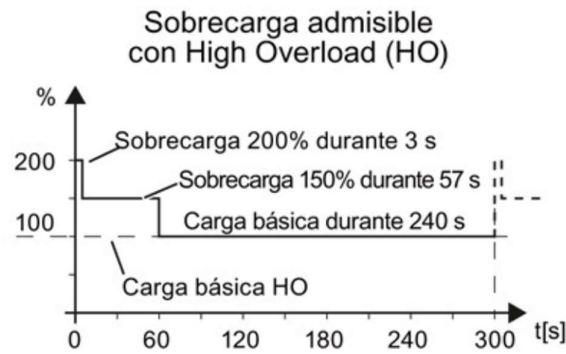


Figura 4-3. Carga High Overload.

En nuestro caso, tenemos una $I_{nomHO} = 110 \text{ A}$. Por lo que ajustaremos el valor p640 con un valor de 100 A dejando un margen de seguridad.

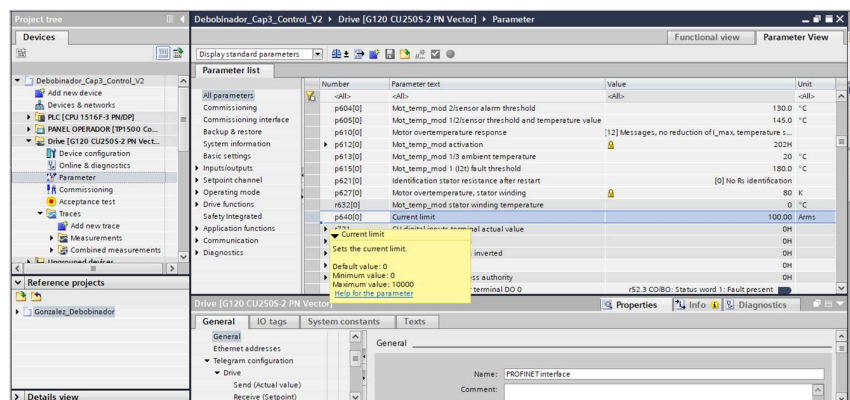


Figura 4-4. Configuración de parámetro p640 dentro de TIA.

Conclusión

En este capítulo se abordó la configuración del sistema de frenado regenerativo para el motor, utilizando las capacidades del SINAMICS G120 con la unidad de control CU250S-2 PN. Como se explicó, el proceso de configuración es relativamente simple, ajustando parámetros clave como el p640 para definir el factor de sobrecarga del motor. En nuestro caso, este ajuste se realizó estableciendo un valor de 100 A, dejando un margen de seguridad respecto a la corriente nominal del motor en condiciones de "High Overload" (110 A).

El sistema de frenado regenerativo destaca por su capacidad de realimentar la energía generada de vuelta a la red eléctrica, evitando que esta se disipe completamente en forma de calor. Esto permite obtener un par de freno constante y un rendimiento superior, además de ser aplicable en una amplia gama de sistemas, como mecanismos de elevación, centrifugadoras y desbobinadoras, donde el frenado prolongado es una necesidad recurrente.

Entre sus principales ventajas se encuentran la eficiencia energética, al recuperar la potencia generada durante el frenado, y su versatilidad para diferentes aplicaciones. Sin embargo, cabe destacar que su funcionalidad depende del correcto funcionamiento de la red eléctrica, lo que representa su principal desventaja.

En conclusión, la implementación del frenado regenerativo en nuestro sistema representa una solución eficiente, segura y sostenible para garantizar un control óptimo del proceso de desenrollado, alineándose con las necesidades específicas de la aplicación y maximizando el rendimiento del sistema. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a un uso más racional de los recursos energéticos, consolidando la funcionalidad global del sistema.

Capítulo V: Configuración y Diseño del sistema de Monitoreo.

El monitoreo en tiempo real de procesos industriales es un aspecto fundamental para garantizar la eficiencia, la seguridad y la precisión de las operaciones. En el caso del sistema de desenrollado, resulta crítico contar con una herramienta que no solo permita observar el estado y el comportamiento de los parámetros principales, sino que también pueda identificar posibles fallas o desviaciones que puedan comprometer el desempeño del proceso. Este capítulo aborda el diseño y la configuración de un sistema de monitoreo que integrará estas funcionalidades, facilitando la supervisión por parte del operador y asegurando el correcto funcionamiento del debobinador.

En primer lugar, se desarrollará una interfaz de monitoreo, diseñada para mostrar en tiempo real valores clave del proceso, como la velocidad de desenrollado, los parámetros eléctricos claves del Debobinador y el diámetro actual de la bobina. Estos datos son cruciales para comprender y optimizar el comportamiento del sistema, permitiendo al operador realizar ajustes cuando sea necesario.

Además, el sistema incluirá un módulo de alarmas y notificaciones, configurado para detectar automáticamente fallas en el proceso, como desbalances en la tensión, variaciones inesperadas en la velocidad o problemas relacionados con el diámetro del material. Estas alertas se mostrarán de manera clara y precisa en la interfaz de monitoreo, brindando al operador la capacidad de actuar de forma inmediata y minimizando así los riesgos asociados al proceso.

A través de este capítulo, se utilizarán herramientas de software para garantizar un sistema de monitoreo eficiente y confiable. De esta forma, se complementará el diseño global del sistema, asegurando no solo el control óptimo del debobinador, sino también la capacidad de supervisar y reaccionar de manera proactiva ante cualquier eventualidad.

Diseño del sistema de monitoreo del sistema

El monitoreo del debobinador debe garantizar que el sistema funcione eficientemente, evitando sobrecargas, fluctuaciones en la tensión del material y problemas en el desenrollado. Para ello, identificaremos los parámetros críticos que deben ser visualizados en tiempo real y las condiciones bajo las cuales se generarán alarmas.

¿Qué objetivos tiene monitorear el sistema?

1. **Visualizar en tiempo real** los parámetros operativos principales del debobinador, que incluyen velocidad, tensión y diámetro del material, así como la potencia regenerativa que puede estar realimentándose a la red eléctrica.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

2. **Proveer al operador una interfaz gráfica clara y eficiente** que permita identificar rápidamente el estado del sistema y facilite la toma de decisiones.
3. **Detectar fallas o desviaciones críticas**, mediante alarmas automáticas que alerten al operador sobre condiciones anómalas del sistema.
4. **Mantener la integridad del material desenrollado**, ajustando los parámetros de control en caso de desviaciones (como cambios inesperados en la tensión o en el diámetro calculado).

Ahora, se desarrollarán tres pantallas clave que no solo facilitan la interacción del operador con el sistema, sino que también mejoran significativamente la capacidad de supervisión, diagnóstico y resolución de problemas. Estas pantallas son:

I. Pantalla principal

Esta será la pantalla que el operador verá al iniciar el sistema. Aquí se mostrará una representación gráfica del debobinador y los parámetros más importantes, de manera clara y sencilla.

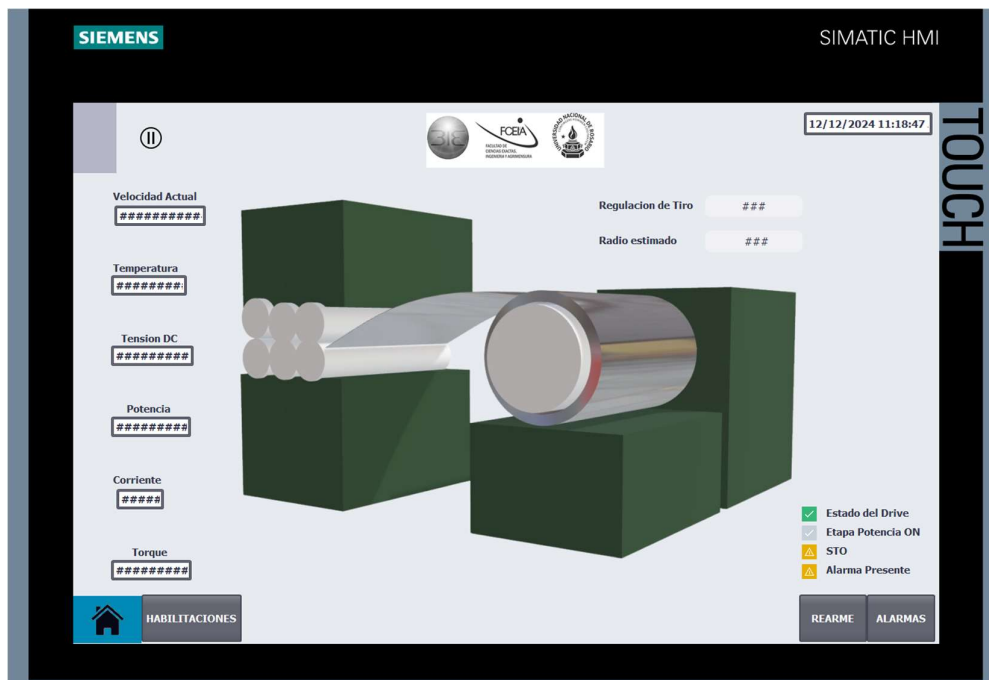


Figura 5-1. Pantalla Principal.

II. Pantalla de Alarmas

Esta pantalla estará dedicada a la gestión de alarmas y alertas. Será fundamental para detectar y resolver problemas de forma rápida y eficiente.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Para la creación de la misma se utiliza una guía de Siemens llamada “[Configuración de mensajes y alarmas en WinCC \(TIA Portal\): ampliación con S7-1200/S7-1500](#)” y también la guía de “Alarmas e identificadores de error de Motion Control”. Estas dos guías nos permitirán configurar las alarmas de manera simple y eficiente para poder detectar cualquier error que afecte a nuestro sistema.

En esta pantalla se verán dos visores de alarmas. Uno en la parte superior de la pantalla que muestra las alarmas activas que deben atenderse para poder seguir con el proceso, y otro en la parte inferior que actúa como buffer donde podemos ver las alarmas ya reconocidas para tener un control de cuándo y en que horario sucedieron.

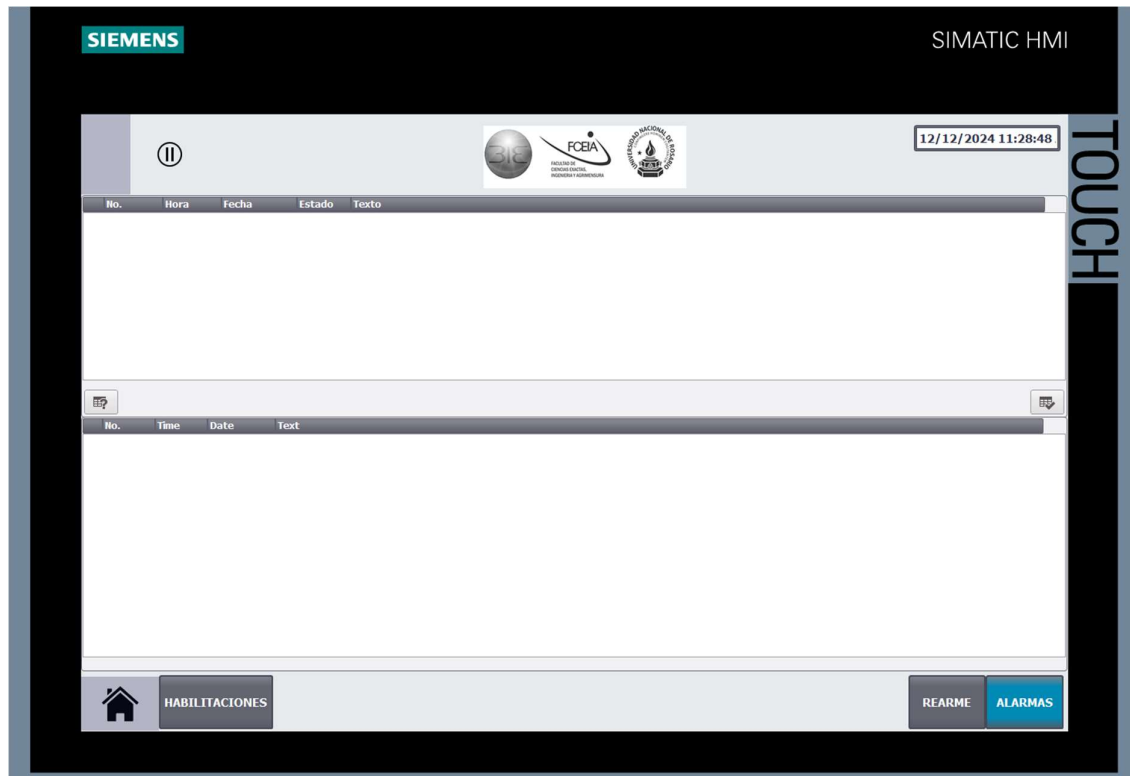


Figura 5-2. Pantalla de Alarmas.

III. Pantalla de Habilitaciones

Esta pantalla permitirá detectar rápidamente cuál de las habilitaciones necesarias para el funcionamiento del sistema no está funcionando en caso de falla. Esto logra que el diagnóstico es más rápido ante una falla y, en consecuencia, la acción posterior para resolverla también.

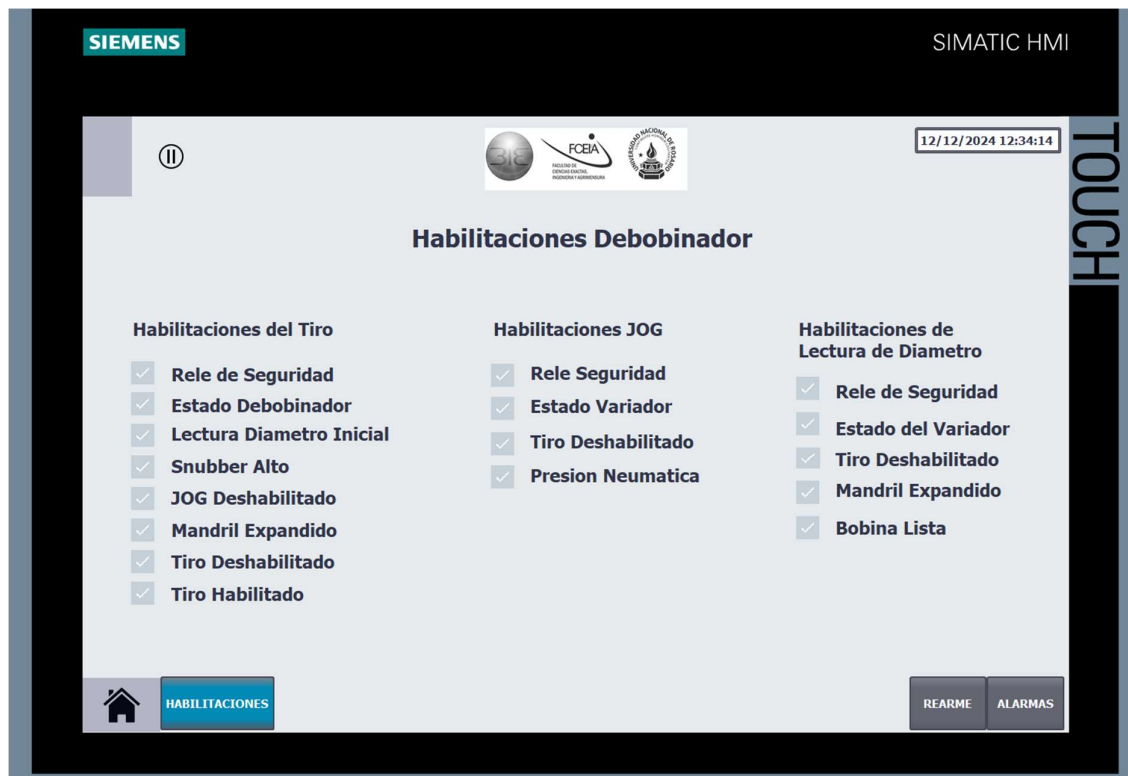


Figura 5-3. Pantalla de Habilitaciones.

Conclusión

El diseño y la configuración del sistema de monitoreo son fundamentales en la implementación de un sistema eficiente y accesible para el control del debobinador. A lo largo de este capítulo, se desarrollaron tres pantallas clave que no solo facilitan la interacción del operador con el sistema, sino que también mejoran significativamente la capacidad de supervisión, diagnóstico y resolución de problemas.

La *Pantalla Principal* se diseñó como el núcleo visual del sistema, permitiendo al operador poder supervisar en tiempo real los parámetros más relevantes del debobinador de forma clara y comprensible.

La *Pantalla de Alarmas* se centra en la gestión eficaz de fallas y advertencias. Esta herramienta resulta esencial para detectar, identificar y priorizar problemas de manera rápida, ayudando a reducir los tiempos de inactividad del sistema y permitiendo que el operador actúe rápidamente frente a situaciones críticas. Su integración con un registro histórico asegura la trazabilidad de las alarmas, promoviendo un enfoque preventivo en el mantenimiento del equipo.

Por último, la *Pantalla de Habilitaciones* representa un avance significativo en el diagnóstico de fallas. Su diseño permite al operador identificar de manera inmediata cuál de las habilitaciones necesarias para el funcionamiento del debobinador está comprometida, facilitando así una acción correctiva eficiente. Esto minimiza los tiempos muertos y optimiza el rendimiento general del sistema.

En conjunto, la creación de estas pantallas de monitoreo aporta múltiples beneficios. Entre los más destacados se encuentran la mejora en la supervisión del sistema, la reducción de tiempos de diagnóstico y resolución de fallas, y un incremento en la seguridad y eficiencia operativa. Estos desarrollos no solo aseguran un funcionamiento confiable del debobinador, sino que también sientan las bases para un sistema de control moderno y adaptable a las necesidades futuras.

Capítulo VI: Simulaciones

En este capítulo final, se llevarán a cabo las simulaciones necesarias para verificar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado. Estas simulaciones son fundamentales para garantizar que el sistema de monitoreo y control del debobinador opere de manera eficiente, segura y confiable. A través de ellas, se evaluará el desempeño de las pantallas del HMI, la interacción entre los diferentes componentes del sistema, y la capacidad del sistema para responder a condiciones normales, anómalas y extremas.

El objetivo principal es identificar posibles fallos, optimizar el diseño y asegurar que el sistema cumpla con los requisitos planteados en las etapas iniciales del proyecto. Además, estas pruebas permitirán validar que las alarmas, habilitaciones y controles configurados funcionan como se espera, brindando al operador una experiencia intuitiva y eficiente.

Dado que es complejo simular todo el sistema físico y su interacción con los elementos reales, se optó por realizar simulaciones específicas para verificar el correcto funcionamiento de la lógica programada. Estas simulaciones se enfocaron en dos áreas principales: la interacción con el HMI y el análisis del comportamiento dinámico del sistema mediante gráficas. A continuación, se describen en detalle las simulaciones realizadas:

1. Simulación del HMI

Se utilizó la herramienta de simulación del TIA Portal para observar cómo se comportan las pantallas diseñadas en el HMI y su interacción con las variables del sistema. Se forzaron entradas en el programa para simular las condiciones de operación del sistema y comprobar el correcto funcionamiento de las pantallas. Se adjuntan videos donde se muestran los resultados de las simulaciones.

Las simulaciones realizadas fueron las siguientes:

- Pantalla general del estado del sistema:

Esta pantalla muestra el estado general del debobinador, indicando si el sistema se encuentra en condiciones normales, en falla o en emergencia.

Para comprobar su funcionamiento, se forzaron las entradas correspondientes a cada estado. Se verificó que:

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

- En estado "funcionamiento normal", se mostraba un ícono verde indicando condiciones normales.



Figura 6-1. Debobinador funcionando normalmente.

- En estado de "Falla", el ícono cambiaba a amarillo.

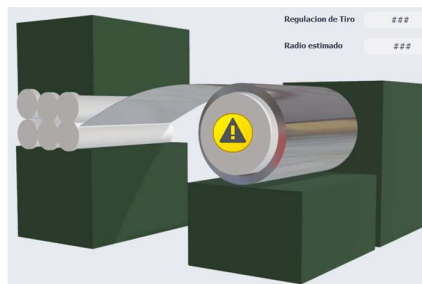


Figura 6-2. Debobinador en estado de falla presente.

- En estado de "Emergencia", el ícono cambiaba a rojo.

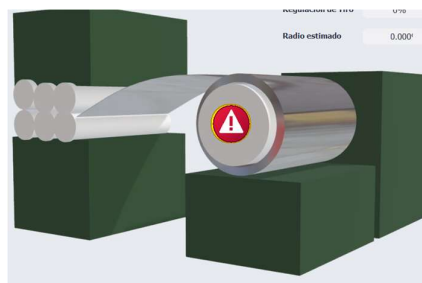


Figura 6-3. Debobinador en estado de emergencia presente.

Este comportamiento permite al operador identificar rápidamente el estado del sistema mediante un código visual intuitivo.

- o Pantalla de habilitaciones:

Esta pantalla muestra las habilitaciones necesarias para que el debobinador funcione correctamente. Permite al operador identificar si falta alguna habilitación para el arranque del sistema.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Se forzaron las entradas asociadas a las habilitaciones, verificando que estas se iban activando y mostrando en la pantalla en tiempo real. Esto demuestra que el sistema es capaz de proporcionar información clara y precisa sobre las condiciones necesarias para la operación.



Figura 6-4. Habilitaciones necesarias para el funcionamiento.

o Pantalla de alarmas:

Se diseñó una pantalla para visualizar las alarmas generadas por el sistema. Las alarmas simuladas incluyeron:

- Parada de emergencia activada.
- Falla en el debobinador.
- Límite de velocidad nominal excedido.
- Límite de torque nominal excedido.

Para cada alarma, se forzaron las variables correspondientes y se verificó que estas aparecían correctamente en el visor de avisos del HMI. Este visor permite al operador identificar rápidamente las causas de los problemas y tomar las medidas necesarias para solucionarlos.

2. Simulación del comportamiento dinámico del sistema mediante gráficas

Además de las simulaciones de las pantallas del HMI, se realizaron simulaciones dinámicas para analizar el comportamiento del sistema en función de variables clave. Estas simulaciones se enfocaron en los aspectos de control de tiro y torque del debobinador:

Simulación del control de tiro en función del radio estimado:

Se simuló la relación entre la velocidad del debobinador, el radio estimado de la bobina y la velocidad de referencia de tiro.

Se verificó que, al variar la velocidad del debobinador, el sistema ajustaba automáticamente el radio estimado de la bobina. Esto, a su vez, modificaba la velocidad de referencia del debobinador para mantener un control adecuado del tiro.

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

Los resultados de esta simulación se presentaron mediante gráficas que muestran cómo las variables evolucionan en función del tiempo. Esto permitió comprobar que el control de tiro responde correctamente a los cambios en las condiciones del sistema.

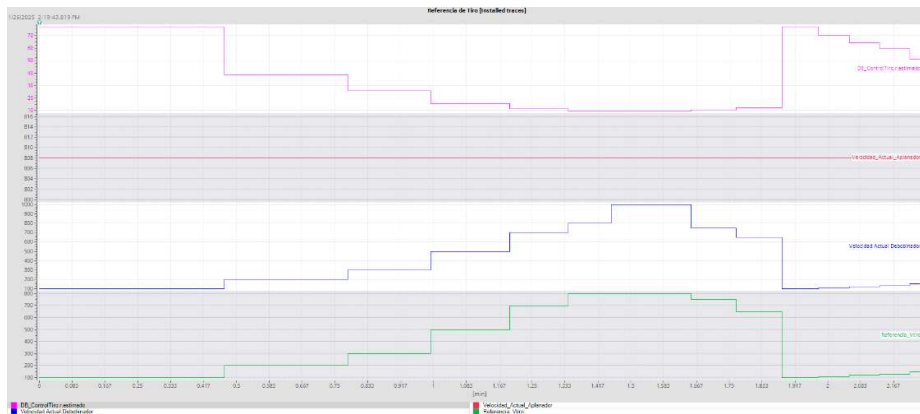


Figura 6-5. Gráfica del Control de Tiro.

Simulación del ajuste de torque mediante el control de tiro:

Se simuló el efecto de la regulación del tiro en los límites de torque máximo y mínimo del sistema.

Utilizando un potenciómetro simulado, se modificaron los valores de regulación de tiro. Se verificó que, al aumentar o disminuir el tiro, los límites de torque máximo y mínimo se ajustaban en consecuencia.

Esta simulación demuestra que el sistema es capaz de adaptarse dinámicamente a las necesidades del proceso, garantizando el control del torque.

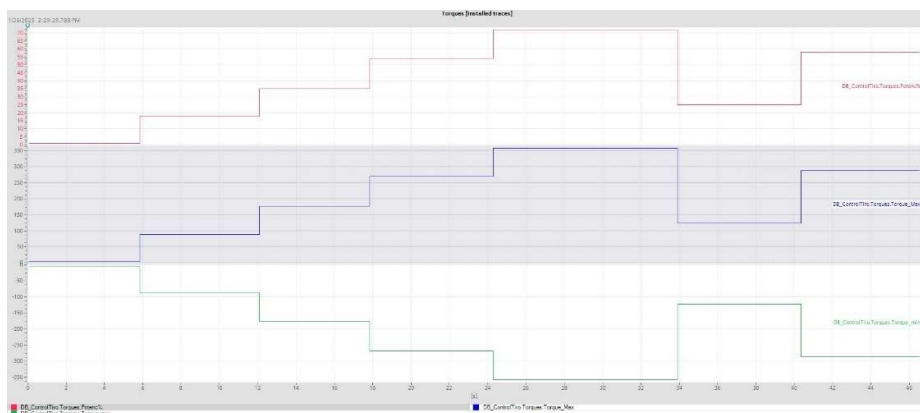


Figura 6-6. Gráfica del Control de Torque.

Conclusión

Las simulaciones realizadas permitieron validar los aspectos más importantes del sistema, tanto desde el punto de vista de la interacción del operador (HMI) como del comportamiento dinámico del debobinador. A pesar de las limitaciones presentadas para simular el sistema físico completo, los

resultados obtenidos confirman que la lógica programada cumple con los requisitos funcionales establecidos. Esto incluye:

- La correcta visualización del estado del sistema y de las alarmas en el HMI.
- La capacidad del sistema para proporcionar información clara sobre las habilitaciones necesarias para su funcionamiento.
- El adecuado control del tiro y el ajuste dinámico de los límites de torque.

Estas simulaciones nos permiten comprobar la funcionalidad del sistema. Si bien, es necesario realizar mas simulaciones con el hardware in situ, esto permite ver que la información necesaria para trabajar con el resto de la maquina se transmite de manera clara y podrá implementarse.

Capítulo VII: Conclusiones

El presente proyecto ha logrado desarrollar e implementar un sistema de automatización para el proceso de desenrollado de bobinas metálicas, utilizando herramientas de última tecnología y un enfoque integral en la mejora de la eficiencia, seguridad y sostenibilidad operativa. A lo largo de las distintas fases de diseño, configuración y programación, se ha buscado optimizar tanto el rendimiento del sistema como la experiencia del operador, garantizando una operación fluida y precisa en un entorno industrial complejo.

1. Selección y Especificación de Dispositivos de Control:

La correcta elección de los dispositivos de control es fundamental para el éxito del proyecto. A través de una correcta selección de componentes, como el PLC, los módulos de expansión, el variador de frecuencia y los elementos de control, se sentaron las bases para un sistema robusto y escalable. Esta fase permite garantizar la compatibilidad y la facilidad de integración entre los distintos dispositivos, asegurando un rendimiento óptimo y una operación sin interrupciones.

2. Configuración y Diseño del Sistema de Accionamiento:

El diseño del sistema de accionamiento, utilizando el entorno Siemens TIA Portal, permite una configuración precisa de los componentes físicos y virtuales, como el motor. La parametrización adecuada de estos componentes es esencial para establecer un rendimiento eficiente y fiable. La verificación exhaustiva del proyecto antes de su implementación real, mediante la compilación y simulación, permitió detectar y corregir errores potenciales, lo que resulta en un sistema libre de fallos y listo para su puesta en marcha.

3. Control Avanzado del Motor Asíncrono:

El desarrollo de un sistema de control vectorial indirecto de tensión a lazo abierto para el motor asíncrono es una de las decisiones más estratégicas del proyecto. Esta técnica, basada en el control preciso del torque y la velocidad, permite un desenrollado controlado de las bobinas metálicas, lo que a su vez incrementa la precisión y la estabilidad del proceso. La implementación del Motion Control, con bloques como MC_POWER y MC_MOVEVELOCITY, proporciona una flexibilidad y exactitud

adicionales en el control del movimiento, lo que optimiza la productividad y reduce el riesgo de fallos operativos.

4. Frenado Regenerativo y Eficiencia Energética:

Una de las innovaciones más destacadas del proyecto es la implementación del sistema de frenado regenerativo utilizando el variador SINAMICS G120. Este sistema no solo permite un control eficiente del par de frenado, sino que también facilita la realimentación de la energía generada durante el frenado a la red eléctrica. Este enfoque no solo contribuye a la eficiencia energética, sino que también reduce el gasto de energía al evitar la disipación de calor innecesaria. El uso de este sistema es un paso importante hacia la sostenibilidad operativa, alineándose con las tendencias actuales de la industria hacia la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono.

5. Monitoreo y Diagnóstico Proactivo:

El sistema de monitoreo diseñado, con pantallas interactivas para supervisión en tiempo real, alarmas y habilitaciones, es crucial para mejorar la gestión operativa del debobinador. La interfaz gráfica intuitiva facilita la interacción del operador con el sistema, mientras que la gestión eficiente de alarmas permite detectar y resolver problemas rápidamente, reduciendo el tiempo de inactividad. La pantalla de habilitaciones, en particular, mejora el diagnóstico de fallas y optimiza los tiempos de mantenimiento, contribuyendo a una mayor disponibilidad y confiabilidad del sistema.

6. Mejora en la Productividad y Reducción de Riesgos:

La automatización del proceso de desenrollado permite un notable incremento en la productividad, ya que el sistema ahora opera de manera continua y precisa, con una mínima intervención humana. La programación avanzada, junto con el control preciso de los movimientos y la velocidad, garantiza una mayor estabilidad en el proceso, reduciendo las probabilidades de errores operativos. Además, la implementación de medidas de seguridad avanzadas, como el control de sobrecargas y el monitoreo constante del sistema, minimiza los riesgos de accidentes, garantizando un entorno de trabajo más seguro para los operadores.

7. Mantenimiento Más Rápido y Preciso:

Gracias a la integración de un sistema de monitoreo avanzado y la capacidad de diagnóstico proactivo, los tiempos de mantenimiento se reducen considerablemente. La detección temprana de fallas y la capacidad de acceder a información detallada sobre el estado de los dispositivos facilita intervenciones más rápidas y precisas. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también prolonga la vida útil de los componentes del sistema, reduciendo los costos a largo plazo.

Conclusión final

En términos generales, este proyecto logrado su objetivo de crear un sistema de control altamente eficiente, seguro y sostenible para el proceso de desenrollado de bobinas metálicas. La combinación de tecnología avanzada en programación, control de movimiento, eficiencia energética y monitoreo ha

Diseño de sistema debobinador con capacidad de recuperación de energía

dado lugar a un sistema que no solo optimiza la producción, sino que también reduce los costos operativos y mejora la seguridad en el lugar de trabajo.

La implementación de soluciones innovadoras, como el frenado regenerativo y el control vectorial, hace de este proyecto una excelente solución para la industria en términos de eficiencia y sostenibilidad. Estas innovaciones no solo han permitido un uso más eficiente de los recursos energéticos, sino que también han contribuido a la reducción de la huella de carbono, alineándose con las tendencias globales hacia la sostenibilidad ambiental.

Además, el enfoque integral adoptado durante el desarrollo del sistema ha permitido abordar de manera efectiva los desafíos de la automatización de procesos industriales complejos. La integración de un sistema de monitoreo y la capacidad de diagnóstico proactivo han mejorado significativamente la capacidad de respuesta ante posibles fallos, asegurando una operación continua y minimizando el tiempo de inactividad.

Este proyecto demuestra el potencial de la automatización industrial para transformar procesos tradicionales, mejorando tanto la competitividad como la sostenibilidad en el sector industrial. La experiencia adquirida y las lecciones aprendidas durante el desarrollo de este sistema proporcionan una base sólida para futuras iniciativas de automatización, no solo en el ámbito del desenrollado de bobinas metálicas, sino también en otros procesos industriales que busquen mejorar su eficiencia y sostenibilidad.

En conclusión, el éxito de este proyecto radica en su capacidad para integrar tecnología de vanguardia con prácticas operativas sostenibles, estableciendo un nuevo estándar en la automatización industrial. Este logro no solo beneficia a la empresa en términos de productividad y reducción de costos, sino que también contribuye positivamente al bienestar de los operadores y al medio ambiente, demostrando que la innovación tecnológica puede ir de la mano con la responsabilidad social y ambiental.

Bibliografía

- Libro Freile Mora Maquinas Eléctricas: [Maquinas electricas 6a ed Fraile Mora Je.pdf](#)
- Pedro Luis Domínguez. TÉCNICAS DE CONTROL VECTORIAL EN MOTORES ELÉCTRICOS ASÍNCRONOS.
- Manual Siemens. S7-1500 S7-1500/S7-1500T Alarmas e identificadores de error de Motion Control V6.0, STEP 7 V17.
- Manual Siemens. SINAMICS G120 Convertidores con las Control Units CU250S-2.
- Manual Siemens. S7-1500 S7-1500/S7-1500T Sinopsis de Motion Control V6.0, STEP 7 V17 o superior.
- Manual Siemens. S7-1500/S7-1500T Funciones de eje V6.0 STEP 7 V17 o superior.
- Institute of Materials, Minerals & Mining. (s.f.). Recuperado de <https://www.iom3.org/>
- Unión Industrial Argentina. (s.f.). Estudios de cadenas de valor. Recuperado de <https://www.uia.org.ar/centro-de-estudios/1357/estudios-de-cadenas-de-valor/>
- Ministerio de Economía Argentina. (2021). Informes de cadenas de valor: Siderurgia. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/fichas-sectoriales_siderurgia_nov_2021.pdf
- Wikipedia. (s.f.). Siderurgia. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Siderurgia>
- Wikipedia. (s.f.). Metalurgia. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Metalurgia>
- Unión Industrial Argentina. (2023). Indicadores laborales en la industria. Recuperado de https://uiaorgar-cmsdev.s3.amazonaws.com/pdf/Indicadores_laborales_en_la_industria_2023.04_VDaM14q.pdf
- Instituto Argentino para el Desarrollo Económico. (s.f.). La siderurgia: madre de industrias. Recuperado de <https://www.iade.org.ar/noticias/la-siderurgia-madre-de-industrias>
- Centro Argentino de Ingenieros. (2018). Siderurgia. Recuperado de https://cai.org.ar/wp-content/uploads/actividades/2018/201801_SIDERURG.pdf
- Aceropedia. (s.f.). Tipos de acero: Acero laminado. Recuperado de <https://aceropedia.com/tipos-de-acero/acero-laminado/>
- Enriquez Berciano, J. L., Tremps Guerra, E., De Elio de Bengy, S., & Fernández Segovia, D. (2010). Monografías sobre tecnología del acero. Parte IV: Laminación. Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36128945/LAMINACION2_MONO_2010-libre.pdf
- Ministerio de Economía Argentina. (2021). Informes de cadenas de valor: Ficha sectorial Siderurgia. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/fichassectoriales_siderurgia_nov_2021.pdf
- Ternium. (s.f.). Aceros planos laminados en frío. Recuperado de <https://ar.ternium.com/es/productos/aceros-planos/laminados-en-frio>
- Aceropedia. (s.f.). Procesos: Laminado en frío. Recuperado de <https://aceropedia.com/procesos/laminado-en-frio/>
- Ferros Planes. (s.f.). Laminado en frío y en caliente: Ventajas. Recuperado de <https://ferrosplanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/>
- Metales Ferrosos. (2017). Laminado en frío. Recuperado de <https://metalesferrosos.wordpress.com/2017/06/02/laminado-en-frio/>
- Metales Ferrosos. (2017). Laminado en caliente. Recuperado de <https://metalesferrosos.wordpress.com/2017/06/02/laminado-en-caliente/>

- Ternium. (s.f.). Aceros planos laminados en caliente. Recuperado de <https://ar.ternium.com/es/productos/aceros-planos/laminados-en-caliente>
- Slideshare. (s.f.). Tren de laminado. Recuperado de <https://es.slideshare.net/Kynky588/tren-de-laminado>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). Modelado de procesos de manufactura: Capítulo 5, Laminación. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/08-MPM-Cap5-Final.pdf>
- Fimi Machinery. (s.f.). Líneas de aplanamiento y corte transversal. Recuperado de <https://www.fimimachinery.com/es/productos/lineas-de-aplanamiento-y-corte-transversal/>
- Fagor Arrasate. (s.f.). Líneas de corte transversal. Recuperado de <https://fagorarrasate.com/es/tecnologia/lineas-de-corte-transversal/>
- Athader. (s.f.). Líneas de corte transversal. Recuperado de <https://athader.com/es/lineas-de-corte-transversal/>
- LinkedIn. (s.f.). La industria de metalurgia, siderurgia y fundición. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/la-industria-de-metalurgia-siderurgia-y-fundici%C3%B3n-muestran-/?originalSubdomain=es>
- Red Hat. (s.f.). Automatización en la industria. Recuperado de <https://www.redhat.com/es/topics/automation#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20ayuda%20a%20las,y%20servicios%20innovadores%20m%C3%A1s%20o%C3%A1pido>
- Voltec. (s.f.). Mejora de proceso productivo en una industria siderúrgica. Recuperado de <https://voltec.es/obra/mejora-de-proceso-productivo-en-una-industria-siderurgica/>