

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Migración de MOVIMOT a variadores de frecuencia
DANFOSS e integración al controlador SIEMENS del proceso
de paletizado.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Erick Bruce Briones Chasi

Jhon Adolfo Larreategui Ulloa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

A mi madre, Patricia Ulloa, quien con valentía asumió el rol de madre y padre a la vez. Por su ejemplo constante y por enseñarme que el esfuerzo, la honestidad y la responsabilidad son principios fundamentales de vida.

A mis abuelos, tíos y tías, por su amor, apoyo y consejos a lo largo de mi vida; a mis hermanas y sobrinos, por ser un pilar fundamental y recordarme que la familia siempre permanece unida. A mi amiga Angie Maldonado, cuya compañía durante mi etapa universitaria fue invaluable y quien me enseñó que siempre es posible ser una mejor persona. Que descanse en paz.

A mi pareja, Shirley Quiroz, por su compañía sincera, su apoyo y su amor. Por demostrarme que, incluso en los momentos más difíciles, siempre es posible seguir adelante con fortaleza, esperanza y una sonrisa.

Att: Jhon Adolfo Larreátegui Ulloa

DEDICATORIA

A mis padres, José Briones y Raquel Chasi, Por demostrarme que con trabajo duro y sin rendirse, se puede llegar lejos.

A mi familia y en especial a mi hermano, por el amor incondicional, por regalarme el deporte que me enseñó a ser perseverante y los consejos brindados para superarnos constantemente.

A mis amigos, por los que siguen aquí y por los que ya no están, por más pocos que sean siempre estuvieron sea en los peores momentos hasta la celebración más feliz.

A mi patineta, sin ella nunca hubiese podido sobrevivir los días más difíciles de esta etapa universitaria.

Att: Erick Briones Chasis

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Holger Cevallos Ulloa, Ph. D., por su orientación académica y valiosos aportes al desarrollo de este trabajo.

De igual manera, agradecemos al Ing. Efrén Vinicio Herrera Muentes, Ph. D., por su apoyo y observaciones durante la elaboración de la tesis.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) por la formación académica y los recursos brindados.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jhon Adolfo Larreátegui Ulloa* y *Erick Bruce Briones Chasi* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Jhon Adolfo
Larreátegui Ulloa

Erick Bruce
Briones Chasi

EVALUADORES

Ing. Holger Cevallos Ulloa, Ph. D.

Ing. Efrén Vinicio Herrera Muentes, Ph. D.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar la migración de seis accionamientos integrados MOVIMOT hacia variadores de frecuencia Danfoss VLT FC 280, integrados a un controlador Siemens S7-300 mediante la red PROFIBUS-DP. El proyecto se desarrolla con la hipótesis de que una arquitectura de control centralizada incrementa la confiabilidad operativa y reduce los costos de mantenimiento asociados a fallas por fatiga térmica y vibraciones mecánicas presentes en sistemas descentralizados. La justificación se fundamenta en la necesidad de mejorar la mantenibilidad del sistema de paletizado y asegurar su continuidad operativa en un entorno industrial. El desarrollo del proyecto se realizó mediante el diseño de un nuevo tablero de control centralizado y la reingeniería del programa del PLC utilizando el software SIMATIC Manager. Se emplearon variadores de frecuencia Danfoss FC 280, comunicación PROFIBUS-DP mediante archivos GSD, y la herramienta MCT 10 para la parametrización de los accionamientos. El diseño eléctrico y las protecciones fueron definidos considerando criterios normativos conforme a la IEC 60364-4-43. Los resultados obtenidos demostraron una comunicación estable y determinística entre el PLC y los variadores de frecuencia, permitiendo el control preciso de velocidad, rampas de aceleración y estados operativos. Las pruebas funcionales confirmaron que el sistema migrado replicó la lógica secuencial original del proceso de paletizado sin afectar su desempeño. La investigación concluye que la arquitectura centralizada mejora la mantenibilidad del sistema, reduce los tiempos de intervención por mantenimiento y proporciona una mayor flexibilidad para futuras ampliaciones del proceso.

Palabras Clave: Automatización Industrial, MOVIMOT, Variadores de frecuencia, PROFIBUS-DP, Migración de accionamientos.

ABSTRACT

The present research aims to carry out the migration of six integrated MOVIMOT drive units to Danfoss VLT FC 280 variable frequency drives, integrated into a Siemens S7-300 controller through the PROFIBUS-DP network. The project is developed under the hypothesis that centralized control architecture increases operational reliability and reduces maintenance costs associated with failures caused by thermal fatigue and mechanical vibrations present in decentralized systems. The justification is based on the need to improve the maintainability of the palletizing system and ensure its operational continuity in an industrial environment. The project development was carried out through the design of a new centralized control panel and the reengineering of the PLC program using SIMATIC Manager software. Danfoss FC 280 variable frequency drives were used, with PROFIBUS-DP communication implemented via GSD files, and the MCT 10 tool was employed for drive parameterization. The electrical design and protective devices were defined in accordance with regulatory criteria established by IEC 60364-4-43.

The results obtained demonstrated stable and deterministic communication between the PLC and the variable frequency drives, enabling precise control of speed, acceleration ramps, and operational states. Functional tests confirmed that the migrated system replicated the original sequential logic of the palletizing process without affecting its performance. The research concludes that the centralized architecture improves system maintainability, reduces maintenance intervention times, and provides greater flexibility for future process expansions.

Keywords: Industrial Automation, MOVIMOT, Variable Frequency Drives, PROFIBUS-DP, Drive System Migration.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT | II |
| ÍNDICE GENERAL..... | III |
| ABREVIATURAS..... | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VI |
| ÍNDICE DE TABLAS | IX |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1.1 Descripción del problema..... | 1 |
| 1.1.2 Justificación del problema..... | 2 |
| 1.1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.1.3.1 Objetivo General..... | 3 |
| 1.1.3.2 Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.1.4 Marco teórico..... | 4 |
| 1.1.4.1 Automatización Industrial | 4 |
| Objetivos de la automatización | 4 |
| 1.1.4.2 Topologías de sistemas de accionamiento: centralizados vs descentralizados | 5 |
| 1.1.4.3 Accionamiento eléctrico MOVIMOT SEW..... | 6 |
| 1.1.4.4 Variador de frecuencia DANFOSS FC280..... | 6 |
| 1.1.4.5 Controlador lógico programable SIEMENS S7-300..... | 8 |
| 1.1.4.6 Software SIMATIC MANAGER | 9 |
| 1.1.4.7 Comunicación industrial PROFIBUS-DP..... | 9 |
| CAPÍTULO 2 | 10 |
| 2.1 METODOLOGÍA | 10 |
| Enfoque metodológico..... | 10 |
| 2.2 PROCESO DE MIGRACIÓN..... | 12 |
| 2.2.1 Análisis de nodos a migrar..... | 12 |
| 2.2.1.1 Nodo 52..... | 13 |
| 2.2.1.2 Nodo 53..... | 14 |
| 2.2.1.3 Nodo 55..... | 14 |
| 2.2.1.4 Nodo 56..... | 15 |
| 2.2.1.5 Nodo 62..... | 16 |
| 2.2.1.6 NODO 85..... | 16 |
| 2.2.2 Mapeo de variables..... | 19 |
| 2.2.2.1 Nodo 52..... | 22 |
| 2.2.2.2 Nodo 53..... | 22 |

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| 2.2.2.3 | Nodo 55..... | 23 |
| 2.2.2.4 | Nodo 56..... | 23 |
| 2.2.2.5 | Nodo 63..... | 23 |
| 2.2.2.6 | Nodo 85..... | 24 |
| 2.2.3 | <i>Integración de equipos en red PROFIBUS-DP.....</i> | 25 |
| 2.2.4 | <i>Agregado de nuevas variables.....</i> | 27 |
| 2.2.5 | <i>Programación del PLC.....</i> | 27 |
| 2.2.5.1 | Nodo 100..... | 29 |
| 2.2.5.2 | Nodo 101..... | 29 |
| 2.2.5.3 | Nodo 102..... | 30 |
| 2.2.5.4 | Nodo 103..... | 30 |
| 2.2.5.5 | Nodo 104..... | 30 |
| 2.2.5.6 | Nodo 105..... | 31 |
| 2.2.5.7 | Desbloqueo de variadores..... | 31 |
| 2.2.6 | <i>Diseño de tablero de control.....</i> | 32 |
| 2.2.6.1 | Dimensionamiento y Diseño Mecánico del Tablero..... | 32 |
| 2.2.6.2 | Selección y Dimensionamiento de Protecciones..... | 33 |
| 2.2.7 | <i>Configuración de variadores.....</i> | 34 |
| 2.2.8 | <i>Pruebas de operación simultánea.....</i> | 40 |
| CAPÍTULO 3 | | 41 |
| 3.1 | RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 41 |
| 3.1.1 | <i>Tablero de control.....</i> | 41 |
| 3.1.2 | <i>Resultados de la integración en la red PROFIBUS-DP.....</i> | 44 |
| 3.1.3 | <i>Resultados de la parametrización de los variadores de frecuencia.....</i> | 46 |
| 3.1.4 | <i>Resultados de la adaptación de la programación del PLC.....</i> | 54 |
| 3.1.5 | <i>Resultados de las pruebas operativas del sistema.....</i> | 56 |
| 3.1.6 | <i>Análisis de costos del proyecto.....</i> | 58 |
| 3.1.7 | <i>Rentabilidad de solución.....</i> | 59 |
| CAPÍTULO 4 | | 63 |
| 4.1 | CONCLUSIONES..... | 63 |
| 4.2 | RECOMENDACIONES..... | 65 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 66 |
| ANEXOS | | 69 |

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

IMD Integrated Motor DRIVE

EM Electric Motor

ED Electric Drive

VFD Variable Frequency Drive

E/S Entradas y Salidas

PLC Programmable Logic Controller

MCC Motor Control Center

STO Safe Torque Off

RFI Radio Frequency Interference

CPU Central Processing Unit

P&ID Piping and Instrumentation Diagram

A Ausgangs

E Eingangs

PAW Peripherie Ausgangs Wort

PEW Peripherie Eingangs Wort

PPO Parameter Process data Object

AMA Automatic Motor Adaptation

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIG. 1.1 - MOVIMOT MM..D..... | 6 |
| FIG. 1.2 - VFD DANFOSS VLT FC280. | 8 |
| FIG. 1.3 - PLC SIMATIC S7-300..... | 9 |
| FIG. 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCEDIMIENTO..... | 10 |
| FIG. 2.2 DIAGRAMA P&ID..... | 11 |
| FIG. 2.3 RED PROFIBUS DP (1). | 12 |
| FIG. 2.4 RED PROFIBUS DP (2). | 12 |
| FIG. 2.5 DIRECCIONES UTILIZADAS..... | 13 |
| FIG. 2.6 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS EN NODO 52..... | 13 |
| FIG. 2.7 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO BOOL UTILIZADAS EN NODO 52. | 13 |
| FIG. 2.8 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS EN NODO 53..... | 14 |
| FIG. 2.9 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO BOOL UTILIZADAS EN NODO 53. | 14 |
| FIG. 2.10 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS EN NODO 55..... | 14 |
| FIG. 2.11 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO BOOL UTILIZADAS EN NODO 55..... | 15 |
| FIG. 2.12 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS EN NODO 56..... | 15 |
| FIG. 2.13 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO BOOL UTILIZADAS EN NODO 56..... | 15 |
| FIG. 2.14 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS EN NODO 63..... | 16 |
| FIG. 2.15 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO BOOL UTILIZADAS EN NODO 63..... | 16 |
| FIG. 2.16 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS EN NODO 85..... | 16 |
| FIG. 2.17 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO BOOL UTILIZADAS EN NODO 85..... | 17 |
| FIG. 2.18 BLOQUES DE PROGRAMACIÓN EN PROCESO DE PALETIZADO. | 17 |
| FIG. 2.19 FILTRADO POR REFERENCIA CRUZADA. | 18 |
| FIG. 2.20 VARIABLES UBICADAS MEDIANTE REFERENCIA CRUZADA..... | 18 |
| FIG. 2.21 INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE PLC – MOVIMOT [23]. | 19 |
| FIG. 2.22 BITS PARA DATOS DE SALIDA DE PROCESO EN MOVIMOT [23]..... | 20 |
| FIG. 2.23 BITS PARA DATOS DE ENTRADA DE PROCESO EN MOVIMOT [23]. | 21 |
| FIG. 2.24 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 52..... | 22 |
| FIG. 2.25 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 52. | 22 |
| FIG. 2.26 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 53..... | 22 |
| FIG. 2.27 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 53. | 23 |
| FIG. 2.28 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 55..... | 23 |
| FIG. 2.29 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 55. | 23 |
| FIG. 2.30 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 56..... | 23 |
| FIG. 2.31 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 56. | 23 |
| FIG. 2.32 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 63..... | 23 |
| FIG. 2.33 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 63. | 24 |
| FIG. 2.34 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 85..... | 24 |

| | |
|---|----|
| FIG. 2.35 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 85. | 24 |
| FIG. 2.36 INSTALACIÓN DE GSD. | 25 |
| FIG. 2.37 NUEVOS NODOS EN RED PROFIBU DP. | 25 |
| FIG. 2.38 PROPIEDADES DEL NODO INSERTADO. | 26 |
| FIG. 2.39 CONFIGURACIÓN DEL NODO. | 26 |
| FIG. 2.40 DIRECCIONES PARA TIPO DE DATO WORD UTILIZADAS. | 27 |
| FIG. 2.41 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 100. | 29 |
| FIG. 2.42 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 100. | 29 |
| FIG. 2.43 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 101. | 29 |
| FIG. 2.44 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 101. | 29 |
| FIG. 2.45 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 102. | 30 |
| FIG. 2.46 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 102. | 30 |
| FIG. 2.47 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 103. | 30 |
| FIG. 2.48 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 103. | 30 |
| FIG. 2.49 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 104. | 31 |
| FIG. 2.50 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 104. | 31 |
| FIG. 2.51 ACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 105. | 31 |
| FIG. 2.52 DESACTIVACIÓN DE LA BANDA CORRESPONDIENTE AL NODO 105. | 31 |
| 2.53 DESBLOQUEO DE VFD. | 32 |
| FIG. 2.54 DISEÑO DEL TABLERO EN AUTOCAD. | 33 |
| FIG. 2.55 INTEGRACIÓN DE NUEVO DRIVE AL PROYECTO. | 35 |
| FIG. 2.56 INFORMACIÓN PRINCIPAL DEL VARIADOR 1.50kW. | 35 |
| FIG. 2.57 INFORMACIÓN PRINCIPAL DEL VARIADOR 2.20kW. | 36 |
| FIG. 2.58 PARÁMETROS DEL VLT. | 36 |
| FIG. 2.59 PARÁMETROS DE FÁBRICA Y MODIFICADOS PARA PRUEBA AMA EN VLT DE 1.5kW. | 37 |
| FIG. 2.60 PARÁMETROS DE FÁBRICA Y MODIFICADOS PARA PRUEBA AMA EN VLT DE 2.2kW. | 37 |
| FIG. 2.61 MOTORES CONECTADOS PARA PRUEBA DE OPERACIÓN SIMULTÁNEA. | 40 |
| FIG. 3.1 TABLERO ABIERTO. | 41 |
| FIG. 3.2 TABLERO VISTA INTERIOR. | 42 |
| FIG. 3.3 TABLERO VISTA EXTERIOR. | 43 |
| FIG. 3.4 CONEXIÓN ENTRE TABLEROS. | 44 |
| FIG. 3.5 RED PROFIBUS-DP CON NUEVOS NODOS. | 45 |
| FIG. 3.6 VFD CON SUS RESPECTIVOS NODOS. | 45 |
| FIG. 3.7 PARÁMETROS ONLINE VDF NODO 100. | 47 |
| FIG. 3.8 CONTROL WORD ONLINE VDF NODO 100. | 47 |
| FIG. 3.9 STATUS WORD ONLINE VDF NODO 100. | 47 |
| FIG. 3.10 PARÁMETROS ONLINE VDF NODO 101. | 48 |
| FIG. 3.11 CONTROL WORD ONLINE VDF NODO 101. | 48 |
| FIG. 3.12 STATUS WORD ONLINE VDF NODO 101. | 49 |
| FIG. 3.13 PARÁMETROS ONLINE VDF NODO 102. | 49 |

| | |
|---|----|
| FIG. 3.14 CONTROL WORD ONLINE VDF NODO 102..... | 49 |
| FIG. 3.15 STATUS WORD ONLINE VDF NODO 102..... | 50 |
| FIG. 3.16 PARÁMETROS ONLINE VDF NODO 103..... | 50 |
| FIG. 3.17 CONTROL WORD ONLINE VDF NODO 103..... | 51 |
| FIG. 3.18 STATUS WORD ONLINE VDF NODO 103..... | 51 |
| FIG. 3.19 PARÁMETROS ONLINE VDF NODO 104..... | 51 |
| FIG. 3.20 CONTROL WORD ONLINE VDF NODO 104..... | 52 |
| FIG. 3.21 STATUS WORD ONLINE VDF NODO 104..... | 52 |
| FIG. 3.22 PARÁMETROS ONLINE VDF NODO 105..... | 53 |
| FIG. 3.23 CONTROL WORD ONLINE VDF NODO 105..... | 53 |
| FIG. 3.24 STATUS WORD ONLINE VDF NODO 105..... | 54 |
| FIG. 3.25 PROGRAMACIÓN ONLINE NODO 100..... | 55 |
| FIG. 3.26 PROGRAMACIÓN ONLINE NODO 101..... | 55 |
| FIG. 3.27 PROGRAMACIÓN ONLINE NODO 102 Y 103..... | 55 |
| FIG. 3.28 PROGRAMACIÓN ONLINE NODO 104..... | 56 |
| FIG. 3.29 PROGRAMACIÓN ONLINE NODO 105..... | 56 |
| FIG. 3.30 MOTOR NODO 101..... | 57 |
| FIG. 3.31 MOTOR NODO 105..... | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 2.1 VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROCESO DE PALETIZADO. | 18 |
| TABLA 2.2 NODOS Y VARIABLES PARA LA NUEVA PROGRAMACIÓN. | 27 |
| TABLA 2.3 BITS PARA LA PALABRA DE CONTROL EN DANFOSS [25]. | 28 |
| TABLA 2.4 LISTA DE MATERIALES. | 33 |
| TABLA 2.5 PARÁMETROS PARA CONFIGURACIÓN INICIAL. | 37 |
| TABLA 2.6 PARÁMETROS AUTOCONFIGURADOS MEDIANTE PRUEBA AMA. | 38 |
| TABLA 2.7 PARAMETRIZACIÓN DE VARIADORES. | 39 |
| TABLA 3.1 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO. | 59 |
| TABLA 3.2 EJECUCIÓN DE SERVICIOS. | 61 |
| TABLA 3.3 ADQUISICIÓN DE EQUIPOS. | 61 |
| TABLA 3.4 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN. | 62 |

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Descripción del problema

En la actualidad, la automatización industrial constituye un pilar fundamental para incrementar la productividad, optimizar los procesos de manufactura y garantizar la eficiencia operativa en las plantas de producción, convirtiéndose en un elemento clave para la competitividad y sostenibilidad de las empresas. En este contexto, una planta envasadora de botellas ubicada en Guayaquil - Ecuador, cuenta con varias líneas automatizadas de paletizado, en las cuales las pacas de botellas se transportan mediante bandas automatizadas hacia las estaciones de paletización, donde se organizan y preparan para su colocación en los pallets.

Dichas bandas transportadoras son activadas por accionamientos integrados (IMDs, por sus siglas en inglés) MOVIMOT de la marca SEW-EURODRIVE, equipos descentralizados que combinan un motorreductor con un variador de frecuencia en una única unidad compacta [1]. Estos accionamientos permiten el control preciso de la velocidad y el arranque de las bandas, facilitando la interacción con los sensores y actuadores instalados a lo largo de la línea y optimizando el rendimiento del sistema mediante la coordinación automatizada del flujo de pacas hacia la zona de paletizado.

No obstante, los accionamientos MOVIMOT presentan limitaciones técnicas que afectan directamente la continuidad operativa del sistema. La exposición constante a fuentes de calor y vibraciones reduce la vida útil de la electrónica de potencia, acelerando la fatiga térmica y el deterioro de los componentes internos, lo que aumenta la probabilidad de fallos prematuros [2], [3]. Además, ante una avería en el módulo electrónico, generalmente es necesario reemplazar todo el conjunto motorreductor-drive, convirtiendo cada unidad en un punto crítico de falla dentro del proceso [3]. Estas limitaciones generan costos elevados por reemplazo y prolongados tiempos de inactividad, afectando directamente la productividad y la planificación de la planta.

Para abordar estas restricciones, se plantea el reemplazo de seis accionamientos descentralizados MOVIMOT instalados en la línea de paletizado 01 por un sistema centralizado compuesto por motorreductores y variadores de frecuencia independientes, junto con la implementación de un nuevo tablero de control que integre y gestione dichos variadores.

1.1.2 Justificación del problema

La operación confiable de las líneas automatizadas de paletizado depende directamente de la disponibilidad y continuidad de los accionamientos que impulsan las bandas transportadoras. En los accionamientos integrados MOVIMOT, la electrónica de potencia se encuentra cercana al motor, lo que genera desafíos importantes de gestión térmica y mecánica. La proximidad a fuentes de calor como los bobinados del rotor, el núcleo posterior y el hierro del estator provoca incrementos locales de temperatura que aceleran la fatiga de los componentes electrónicos y aumentan el riesgo de fallas prematuras [2].

Asimismo, la exposición continua a vibraciones mecánicas generadas por el motor y su carga acoplada afecta las conexiones eléctricas y reduce la vida útil de los convertidores, lo que incrementa la probabilidad de interrupciones críticas en la producción y eleva los costos operativos, ya que cualquier falla requiere la sustitución completa de la unidad integrada. Esta situación limita la adopción de los IMDs en aplicaciones industriales de uso general, dado que una avería en la electrónica obliga a reemplazar toda la unidad, generando gastos elevados y pérdida de productividad [3].

Frente a estas limitaciones, la implementación de un sistema centralizado que utilice motores (EM, por sus siglas en inglés) y variadores (ED, por sus siglas en inglés) como equipos independientes ofrece ventajas significativas. Esta configuración aísla la electrónica de potencia de las condiciones adversas de temperatura y vibración propias del motor, incrementando la confiabilidad del sistema y prolongando la vida útil de los componentes electrónicos [6]. Además,

ante cualquier eventualidad, solo es necesario reemplazar el motor o el variador afectado, reduciendo los tiempos de inactividad y los costos de mantenimiento.

Para la implementación de esta solución, se requiere reemplazar los accionamientos integrados MOVIMOT por variadores de frecuencia Danfoss modelo VLT Mini Drive FC 280, junto con los motorreductores correspondientes suministrados por la empresa. Los variadores serán instalados en un nuevo tablero y conectados a la red PROFIBUS y al sistema de control central mediante un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés) Siemens S7-300. Mediante módulos WAGO se gestionan las señales de entradas y salidas, complementado con las modificaciones necesarias en la programación del PLC para garantizar la operación coordinada del sistema.

Las modificaciones planteadas fortalecen la fiabilidad del funcionamiento, al separar la electrónica de potencia de las condiciones exigentes del motorreductor, reduce los tiempos de inactividad, disminuye los gastos de mantenimiento y facilita la disponibilidad de repuestos. Asimismo, aprovecha la experiencia del personal operativo con este tipo de equipos y asegura una integración eficiente con los sistemas de control existentes, proporcionando mayor flexibilidad operativa para la planta.

En síntesis, la propuesta responde de manera efectiva a las limitaciones técnicas de los accionamientos integrados, contribuyendo al incremento de la eficiencia, la confiabilidad y la competitividad de la planta de paletizado, justificando plenamente la implementación del proyecto.

1.1.3 Objetivos

1.1.3.1 Objetivo General

Realizar la migración del sistema de 6 accionamientos MOVIMOT a 6 variadores de frecuencia Danfoss, mediante el diseño, implementación e integración de un nuevo tablero de control y su comunicación con el PLC S7-300, con el fin de mejorar la confiabilidad, facilidad de mantenimiento y eficiencia operativa del proceso de paletizado en la planta envasadora.

1.1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema del nuevo tablero de control con los variadores de frecuencia Danfoss, detallando la distribución de carga y el conexionado interno.
- Configurar la red PROFIBUS PLC S7-300 integrando los nuevos variadores en el sistema de paletizado existente.
- Actualizar el programa del PLC S7-300 de forma offline, incorporando los nuevos variadores al sistema de paletizado.
- Ejecutar la instalación del nuevo sistema de variadores de frecuencia con el propósito de optimizar el control de los motorreductores.
- Verificar el funcionamiento del sistema integrado para garantizar la correcta operación de los variadores Danfoss con el PLC S7-300

1.1.4 Marco teórico

1.1.4.1 Automatización Industrial

La automatización industrial se entiende como la aplicación de equipos mecanizados y sistemas de control programables para reducir la intervención humana en los procesos de producción, optimizando la eficiencia y la calidad de los productos. Este concepto se basa en la evolución de la mecanización, que originalmente solo ayudaba en tareas físicas, hasta sistemas capaces de observar el proceso, tomar decisiones y controlar todas sus etapas. La automatización disminuye significativamente la necesidad de esfuerzo físico y mental por parte de los operarios, mientras mejora la productividad y la uniformidad del producto [4], [5].

Objetivos de la automatización

- Integrar y coordinar operaciones para mejorar la uniformidad y calidad del producto.
- Incrementar la productividad mediante un uso más eficiente de las máquinas y reducción de tiempos muertos.
- Disminuir la intervención humana en tareas repetitivas, peligrosas o físicamente exigentes.
- Optimizar el uso del espacio en planta mediante la organización eficiente de equipos y materiales.

- Mejorar la seguridad laboral y reducir el riesgo de accidentes [4], [5].

1.1.4.2 Topologías de sistemas de accionamiento: centralizados vs descentralizados

Un sistema de accionamiento eléctrico es el conjunto de dispositivos encargados de transformar y controlar la energía eléctrica para generar movimiento mecánico útil en un proceso industrial. Está compuesto por elementos de potencia, de control y de comunicación. La forma en que estos componentes se disponen físicamente y se interconectan entre sí determina la topología del accionamiento, que puede adoptar configuraciones centralizadas o descentralizadas, dependiendo de la ubicación del control y de la electrónica de potencia dentro de la instalación [6].

En un sistema de accionamiento centralizado, los equipos de control y potencia se concentran en tableros eléctricos o centros de control de motores (MCC, por sus siglas en inglés). Desde allí se distribuyen la energía y las señales hacia los motores, lo que favorece el mantenimiento en un punto único, una protección ambiental uniforme y una gestión simplificada de repuestos. Sin embargo, esta disposición requiere mayor cantidad de cableado, espacio en tableros y ventilación concentrada. Por otro lado, en un accionamiento descentralizado, parte o toda la electrónica de potencia y control se desplaza hacia el campo, instalándose cerca o incluso integrada al motor. Esta topología reduce las longitudes de cable, simplifica la instalación y libera espacio en los tableros, aunque incrementa el número de puntos de intervención y exige mayor protección individual de cada módulo.

La literatura técnica destaca que no existe una configuración universalmente superior; la selección depende de las condiciones de operación, entorno y mantenimiento. Las plantas con líneas modulares, transportadores extensos o sistemas repetitivos suelen beneficiarse del enfoque descentralizado, mientras que los procesos compactos, con ambientes agresivos o que requieren diagnóstico desde un punto único, tienden a favorecer el esquema centralizado [6], [7].

1.1.4.3 Accionamiento eléctrico MOVIMOT SEW

En la práctica industrial, MOVIMOT de SEW-EURODRIVE materializa el accionamiento mecatrónico “cerca de la carga” al integrar motor + reductor + inversor de frecuencia en una única unidad con control vectorial, funciones de protección y diagnóstico y módulo de memoria enchufable para respaldo/transferencia de parámetros, lo que facilita sustituciones y estandarización entre equipos equivalentes. La documentación técnica especifica rangos de alimentación trifásica habituales para la serie MM..D y detalla elementos de puesta en marcha, bornes y consideraciones EMC para montaje en campo, todo ello orientado a acortar el comisionado y liberar espacio en tableros sin sacrificar diagnóstico ni seguridad operativa [8].

Para su integración con el sistema de control, MOVIMOT (ver Figura 1.1) admite mando por E/S discretas/analógicas y variantes con bus de campo que simplifican el cableado de señales en líneas modulares y transportadores extensos; los manuales describen el mapeo de señales, la gestión de freno, y los procedimientos de diagnóstico que permiten su interoperabilidad con PLCs de uso común [9].



Fig. 1.1 - MOVIMOT MM..D.

1.1.4.4 Variador de frecuencia DANFOSS FC280

Un convertidor de frecuencia, también denominado variador de frecuencia es un dispositivo electrónico utilizado para modificar la frecuencia y la tensión de la energía eléctrica suministrada a un motor de corriente alterna, permitiendo así

controlar su velocidad de rotación de acuerdo con los requerimientos del proceso industrial [10]. En términos funcionales, el variador de frecuencia (VFD, por sus siglas en inglés) genera una corriente alterna con la frecuencia y el voltaje necesarios para accionar un motor de inducción asíncrono, regulando su comportamiento dinámico y su eficiencia energética. Estos equipos, ubicados entre la red de alimentación y el motor, ajustan la potencia entregada en función de la carga, lo que reduce el consumo energético y los costos operativos, además de prolongar la vida útil de los motores, optimizar los procesos y disminuir los requerimientos de mantenimiento [11]. Por lo que, los convertidores de frecuencia constituyen actualmente un componente esencial en los sistemas de automatización industrial, al proporcionar un control preciso, eficiente y flexible del accionamiento eléctrico [10], [12].

El Danfoss VLT Midi Drive FC 280 es un convertidor de frecuencia de gama media diseñado para aplicaciones industriales que requieren un control eficiente, confiable y flexible del motor, manteniendo al mismo tiempo una estructura compacta y fácil de integrar, como se observa en la Fig. 1.2 Su diseño permite el montaje lado a lado sin espacio adicional, incluye filtros de interferencia de radiofrecuencia (RFI, por sus siglas en inglés) integrados, opciones con freno de chopper incorporado en ciertos modelos, y cumple con la función de seguridad Par seguro desconectado (STO, por sus siglas en inglés) de doble canal, eliminando la necesidad de contactores externos [13]. Asimismo, ofrece interfaces de comunicación industrial como Modbus RTU, PROFINET y PROFIBUS DP, facilitando la integración con sistemas de control modernos. En la Figura 1.2 se muestra la vista general del variador Danfoss FC 280, donde se observan sus principales elementos constructivos y de conexión. Gracias a estas características, el FC 280 representa una solución eficiente para aplicaciones en transportadores, bombas, ventiladores, sistemas de envasado y maquinaria de proceso, contribuyendo a mejorar la eficiencia energética y la confiabilidad operativa de los sistemas de accionamiento industrial [13], [14].



Fig. 1.2 - VFD Danfoss VLT FC280.

1.1.4.5 Controlador lógico programable SIEMENS S7-300

Un Controlador Lógico Programable es un dispositivo electrónico digital diseñado para controlar y automatizar procesos industriales. Funciona como una computadora industrial en miniatura que recibe información de sensores, la procesa según un programa predefinido y activa actuadores para controlar equipos como motores, cilindros o líneas de producción. Los PLCs están diseñados para operar en condiciones severas de temperatura, vibración o polvo, y pueden manejar múltiples entradas y salidas mientras ejecutan funciones de control en tiempo real. Su uso permite optimizar la productividad, garantizar la seguridad y confiabilidad de los procesos, incorporar controles de calidad y reducir la intervención humana en tareas repetitivas, peligrosas o físicamente exigentes, convirtiéndose en herramientas clave para la automatización industrial, combinando flexibilidad, robustez y eficiencia en el control de maquinaria y procesos [15], [16].

Dentro de esta categoría, el SIMATIC S7-300 de Siemens se destaca como un PLC modular y versátil, ampliamente utilizado en la industria por su capacidad de adaptarse a diversas aplicaciones de control y monitoreo (ver Fig. 1.3) Su arquitectura modular permite integrar distintos módulos de CPU, entradas/salidas y comunicación, facilitando la expansión y el mantenimiento del sistema [17], [18]. Aunque ha sido uno de los PLC más populares de Siemens, la compañía anunció su discontinuación a partir del 1 de octubre de 2025, manteniendo soporte técnico y disponibilidad de repuestos durante aproximadamente diez años posteriores [18].



Fig. 1.3 - PLC Simatic S7-300.

1.1.4.6 Software SIMATIC MANAGER

El software SIMATIC Manager forma parte del entorno STEP 7 Classic de Siemens, utilizado para la programación, configuración y diagnóstico de los controladores lógicos programables SIMATIC S7-300 y S7-400. Este entorno constituye la herramienta principal de trabajo dentro de la plataforma STEP 7, ya que permite al usuario crear, organizar y administrar proyectos de automatización bajo una estructura jerárquica en árbol que integra todos los elementos del sistema: hardware, redes, bloques de programa, símbolos, y tablas de datos [19].

Desde SIMATIC Manager se pueden realizar las tareas esenciales de ingeniería industrial: creación de programas, asignación de direcciones de entrada y salida, monitoreo en línea, diagnóstico de fallas, comparación de proyectos, y transferencia de datos entre el PC y el PLC [20].

1.1.4.7 Comunicación industrial PROFIBUS-DP

PROFIBUS-DP (Decentralized Peripherals) es un bus de campo orientado a automatización discreta que establece comunicación determinística cíclica maestro–esclavo entre un controlador y dispositivos de campo [21]. En el nivel físico, PROFIBUS-DP emplea típicamente RS-485 con topología en bus lineal y soporta velocidades desde 9,6 kbit/s hasta 12 Mbit/s.

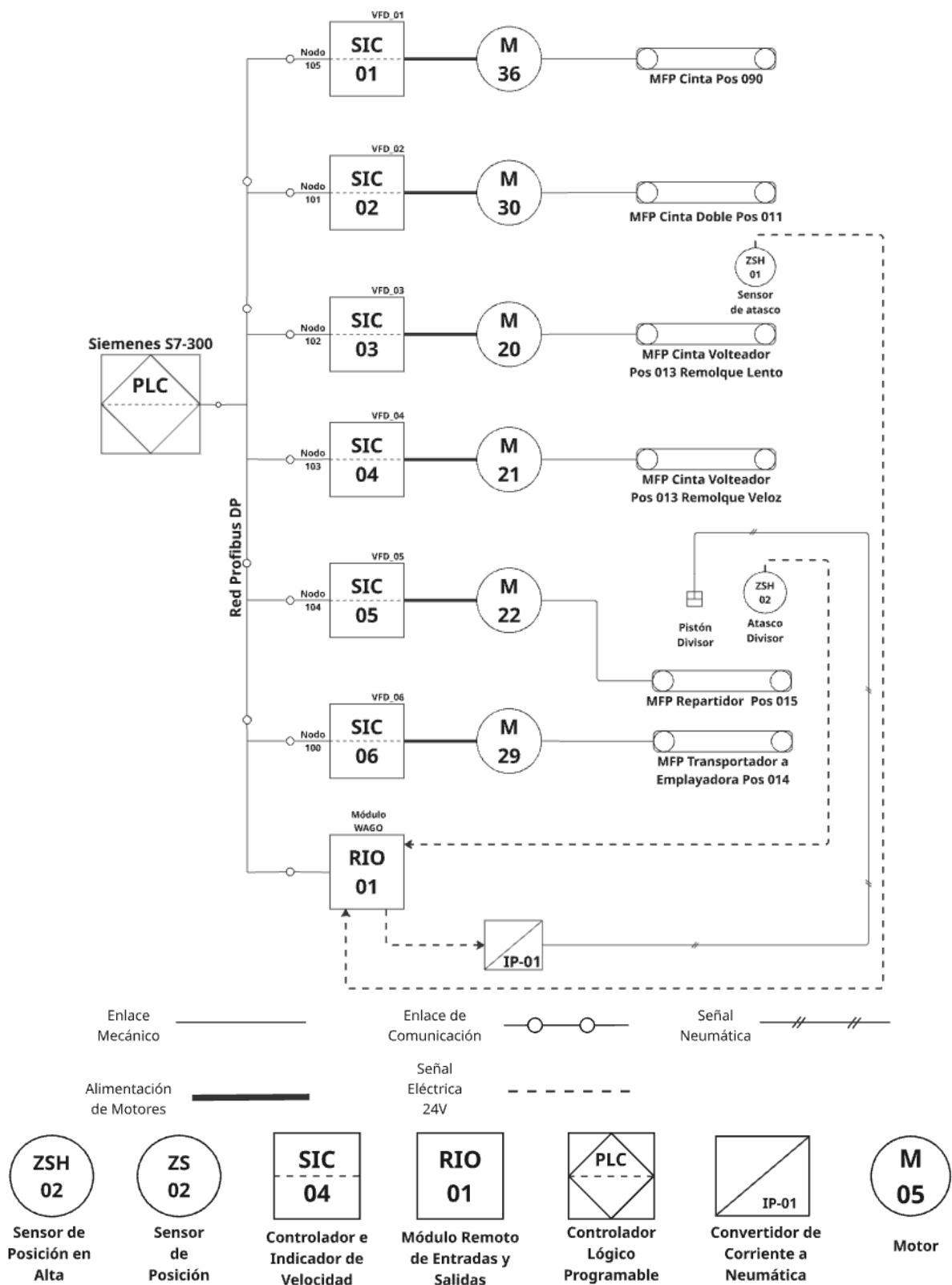


Fig. 2.2 Diagrama P&ID.

La Fig. 2. 2 ilustra el P&ID de la nueva arquitectura de control centralizada. El núcleo es el PLC Maestro Siemens S7-300, que gestiona la lógica y se conecta mediante

una red unificada a seis variadores de frecuencia y una periferia descentralizada WAGO.

El sistema opera en tres niveles interconectados:

- Control: El PLC envía referencias vía Profibus DP.
- Potencia: Los variadores (SIC-01 al 06), situados en el tablero central, accionan los motores de las cintas.
- Campo: El módulo RIO centraliza las señales de 24V (sensores y finales de carrera) hacia el PLC y activa la electroválvula neumática, comunicándose a través del mismo bus de campo.

2.2 PROCESO DE MIGRACIÓN

2.2.1 Análisis de nodos a migrar

Según la información proporcionada por el cliente, los accionamientos MOVIMOT instalados correspondían a los nodos 52, 53, 55, 56, 63 y 85 de la red PROFIBUS DP. Con estos datos, en SIMATIC Manager se utilizó el editor de hardware HW Config para visualizar la topología completa de la red, como se muestra en las Fig. 2.3 y 2.4.

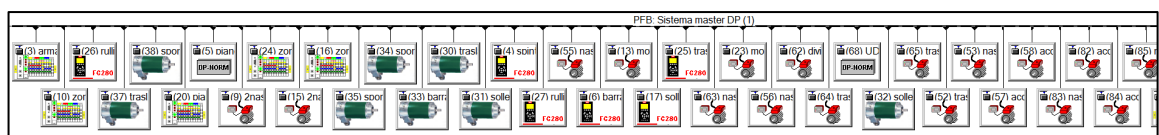


Fig. 2.3 Red PROFIBUS DP (1).

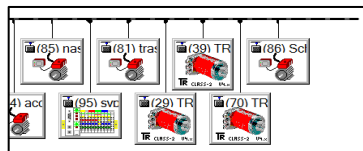


Fig. 2.4 Red PROFIBUS DP (2).

Con la red desplegada en el editor de hardware, se identificaron los nodos involucrados y se revisaron sus direcciones y parámetros, tal como se muestra en la Fig. 2.5.

| Posto connettore | Identif. DP | Numero di ordinazione / Identificazione | Indirizzo E | Indirizzo A |
|------------------|-------------|---|-------------|-------------|
| 1 | 0 | 3PD + DI/DO (MFP 2x) | 394...399 | 394...399 |
| 2 | 8DX | -> 3PD + DI/DO (MFP 2x) | 54 | 54 |
| 3 | | | | |

Fig. 2.5 Direcciones utilizadas.

Al revisar los símbolos de cada esclavo, se identificaron el tipo de dato, la estructura de las variables y los comentarios técnicos definidos en el proyecto. Esta información facilitó la interpretación del intercambio de datos entre el PLC y los dispositivos de campo, como se muestra en las Fig. 2.6 y 2.7.

2.2.1.1 Nodo 52

| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di dati | Commento |
|---|-----------|---------|--------------|---|
| 1 | PEW 394 | PEW394 | WORD | 1° word stato movimot trasp. tapparelle 014 |
| 2 | PEW 396 | | WORD | |
| 3 | PEW 398 | | WORD | |
| 4 | PAW 394 | PAW394 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 |
| 5 | PAW 396 | PAW396 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 |
| 6 | PAW 398 | PAW398 | WORD | RAMP A AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 |

Fig. 2.6 Direcciones para tipo de dato word utilizadas en Nodo 52.

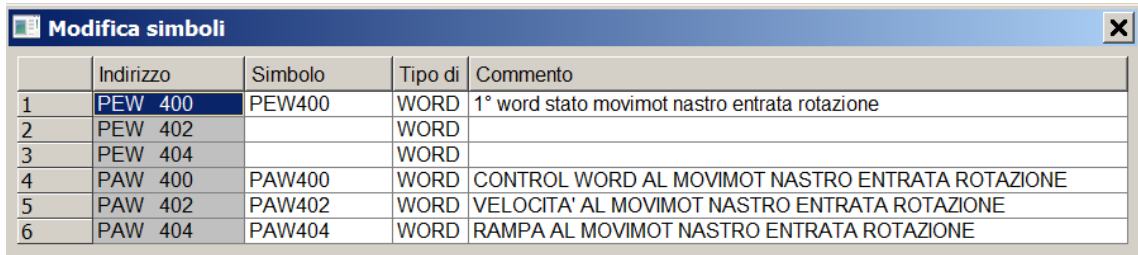
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di dati | Commento |
|----|-----------|---------|--------------|--|
| 1 | E 54.0 | | BOOL | |
| 2 | E 54.1 | | BOOL | |
| 3 | E 54.2 | | BOOL | |
| 4 | E 54.3 | | BOOL | |
| 5 | E 54.4 | | BOOL | |
| 6 | E 54.5 | | BOOL | |
| 7 | E 54.6 | | BOOL | |
| 8 | E 54.7 | | BOOL | |
| 9 | A 54.0 | A54.0 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT TRASP. TAPPARELLE 014 |
| 10 | A 54.1 | | BOOL | |
| 11 | A 54.2 | | BOOL | |
| 12 | A 54.3 | | BOOL | |
| 13 | A 54.4 | | BOOL | |
| 14 | A 54.5 | | BOOL | |
| 15 | A 54.6 | | BOOL | |
| 16 | A 54.7 | | BOOL | |

Fig. 2.7 Direcciones para tipo de dato bool utilizadas en Nodo 52.

Las direcciones identificadas corresponden a las variables digitales y analógicas de cada nodo. Las áreas A y E representan salidas y entradas digitales, mientras que PAW y PEW permiten acceder a palabras periféricas de 16 bits vinculadas a cada módulo PROFIBUS [22].

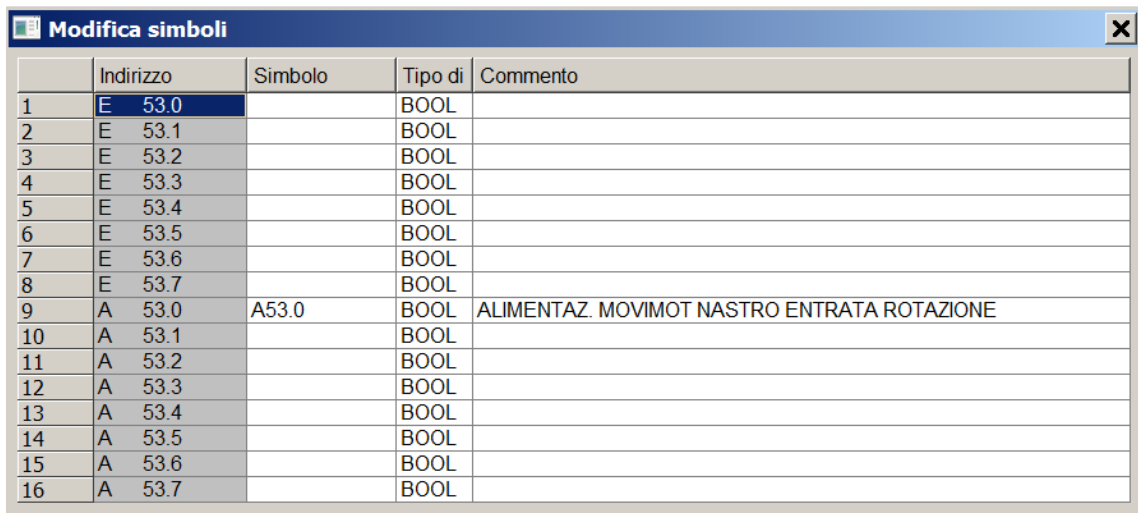
Este mismo análisis se aplicó a los cinco nodos restantes, identificando sus símbolos y direcciones (Fig. 2.8–2.17) y confirmando la correspondencia entre las variables del proceso y la configuración del PLC.

2.2.1.2 Nodo 53



| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
|---|-----------|---------|---------|--|
| 1 | PEW 400 | PEW400 | WORD | 1° word stato movimot nastro entrata rotazione |
| 2 | PEW 402 | | WORD | |
| 3 | PEW 404 | | WORD | |
| 4 | PAW 400 | PAW400 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE |
| 5 | PAW 402 | PAW402 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE |
| 6 | PAW 404 | PAW404 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE |

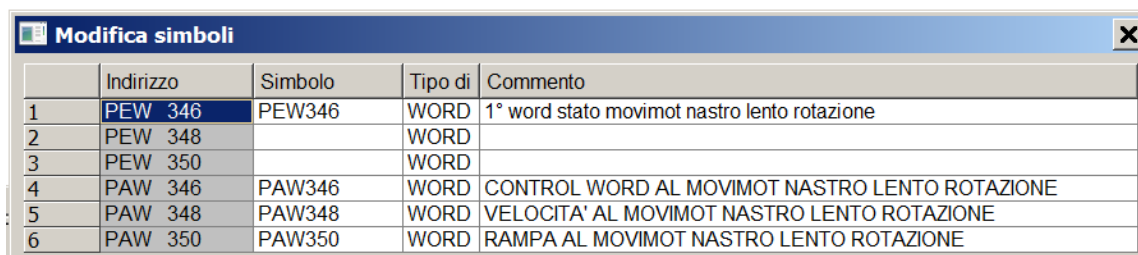
Fig. 2.8 Direcciones para tipo de dato word utilizadas en Nodo 53.



| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
|----|-----------|---------|---------|---|
| 1 | E 53.0 | | BOOL | |
| 2 | E 53.1 | | BOOL | |
| 3 | E 53.2 | | BOOL | |
| 4 | E 53.3 | | BOOL | |
| 5 | E 53.4 | | BOOL | |
| 6 | E 53.5 | | BOOL | |
| 7 | E 53.6 | | BOOL | |
| 8 | E 53.7 | | BOOL | |
| 9 | A 53.0 | A53.0 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE |
| 10 | A 53.1 | | BOOL | |
| 11 | A 53.2 | | BOOL | |
| 12 | A 53.3 | | BOOL | |
| 13 | A 53.4 | | BOOL | |
| 14 | A 53.5 | | BOOL | |
| 15 | A 53.6 | | BOOL | |
| 16 | A 53.7 | | BOOL | |

Fig. 2.9 Direcciones para tipo de dato bool utilizadas en Nodo 53.

2.2.1.3 Nodo 55



| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
|---|-----------|---------|---------|--|
| 1 | PEW 346 | PEW346 | WORD | 1° word stato movimot nastro lento rotazione |
| 2 | PEW 348 | | WORD | |
| 3 | PEW 350 | | WORD | |
| 4 | PAW 346 | PAW346 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE |
| 5 | PAW 348 | PAW348 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE |
| 6 | PAW 350 | PAW350 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE |

Fig. 2.10 Direcciones para tipo de dato word utilizadas en Nodo 55.

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|---|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
| 1 | E 55.0 | | BOOL | |
| 2 | E 55.1 | | BOOL | |
| 3 | E 55.2 | E55.2 | BOOL | FTC CONTROLLO ROTAZIONE INTASATA |
| 4 | E 55.3 | | BOOL | |
| 5 | E 55.4 | | BOOL | |
| 6 | E 55.5 | | BOOL | |
| 7 | E 55.6 | | BOOL | |
| 8 | E 55.7 | | BOOL | |
| 9 | A 55.0 | A55.0 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE |
| 10 | A 55.1 | | BOOL | |
| 11 | A 55.2 | | BOOL | |
| 12 | A 55.3 | | BOOL | |
| 13 | A 55.4 | | BOOL | |
| 14 | A 55.5 | | BOOL | |
| 15 | A 55.6 | | BOOL | |
| 16 | A 55.7 | | BOOL | |

Fig. 2.11 Direcciones para tipo de dato bool utilizadas en Nodo 55.

2.2.1.4 Nodo 56

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|---|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
| 1 | PEW 352 | PEW352 | WORD | 1° word stato movimot nastro veloce rotazione |
| 2 | PEW 354 | | WORD | |
| 3 | PEW 356 | | WORD | |
| 4 | PAW 352 | PAW352 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE |
| 5 | PAW 354 | PAW354 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE |
| 6 | PAW 356 | PAW356 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE |

Fig. 2.12 Direcciones para tipo de dato word utilizadas en Nodo 56.

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|--|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
| 1 | E 56.0 | | BOOL | |
| 2 | E 56.1 | | BOOL | |
| 3 | E 56.2 | | BOOL | |
| 4 | E 56.3 | | BOOL | |
| 5 | E 56.4 | | BOOL | |
| 6 | E 56.5 | | BOOL | |
| 7 | E 56.6 | | BOOL | |
| 8 | E 56.7 | | BOOL | |
| 9 | A 56.0 | A56.0 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE |
| 10 | A 56.1 | | BOOL | |
| 11 | A 56.2 | | BOOL | |
| 12 | A 56.3 | | BOOL | |
| 13 | A 56.4 | | BOOL | |
| 14 | A 56.5 | | BOOL | |
| 15 | A 56.6 | | BOOL | |
| 16 | A 56.7 | | BOOL | |

Fig. 2.13 Direcciones para tipo de dato bool utilizadas en Nodo 56.

2.2.1.5 Nodo 62

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|--------------|--|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di dati | Commento |
| 1 | PEW 376 | PEW376 | WORD | 1° word stato movimot nastro entrata divider |
| 2 | PEW 378 | | WORD | |
| 3 | PEW 380 | | WORD | |
| 4 | PAW 376 | PAW376 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER |
| 5 | PAW 378 | PAW378 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER |
| 6 | PAW 380 | PAW380 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER |

Fig. 2.14 Direcciones para tipo de dato word utilizadas en Nodo 63.

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|--------------|---|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di dati | Commento |
| 1 | E 93.0 | E93.0 | BOOL | FTC CONTEGGIO CONFEZIONI DIVIDER |
| 2 | E 93.1 | | BOOL | |
| 3 | E 93.2 | | BOOL | |
| 4 | E 93.3 | | BOOL | |
| 5 | E 93.4 | | BOOL | |
| 6 | E 93.5 | | BOOL | |
| 7 | E 93.6 | | BOOL | |
| 8 | E 93.7 | | BOOL | |
| 9 | A 93.0 | A93.0 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER |
| 10 | A 93.1 | A93.1 | BOOL | SPOSTAMENTO DIVIDER VERSO CANALE -B- |
| 11 | A 93.2 | | BOOL | |
| 12 | A 93.3 | | BOOL | |
| 13 | A 93.4 | | BOOL | |
| 14 | A 93.5 | | BOOL | |
| 15 | A 93.6 | | BOOL | |
| 16 | A 93.7 | | BOOL | |

Fig. 2.15 Direcciones para tipo de dato bool utilizadas en Nodo 63.

2.2.1.6 NODO 85

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|---------------------------------------|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
| 1 | PEW 442 | PEW442 | WORD | 1° word stato movimot trasp. POS.92 |
| 2 | PEW 444 | | WORD | |
| 3 | PEW 446 | | WORD | |
| 4 | PAW 442 | PAW442 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO POS.92 |
| 5 | PAW 444 | PAW444 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO POS.92 |
| 6 | PAW 446 | PAW446 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO POS.92 |

Fig. 2.16 Direcciones para tipo de dato word utilizadas en Nodo 85.

| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
|----|-----------|---------|---------|---|
| 1 | E 85.0 | | BOOL | |
| 2 | E 85.1 | | BOOL | |
| 3 | E 85.2 | | BOOL | |
| 4 | E 85.3 | | BOOL | |
| 5 | E 85.4 | | BOOL | |
| 6 | E 85.5 | | BOOL | |
| 7 | E 85.6 | | BOOL | |
| 8 | E 85.7 | | BOOL | |
| 9 | A 85.0 | A85.0 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT TRASP. NASTRO POS.92 |
| 10 | A 85.1 | | BOOL | |
| 11 | A 85.2 | | BOOL | |
| 12 | A 85.3 | | BOOL | |
| 13 | A 85.4 | | BOOL | |
| 14 | A 85.5 | | BOOL | |
| 15 | A 85.6 | | BOOL | |
| 16 | A 85.7 | | BOOL | |

Fig. 2.17 Direcciones para tipo de dato bool utilizadas en Nodo 85.

Al acceder al programa del PLC se observan los bloques que conforman la lógica del proceso de paletizado, cada uno con una función específica dentro de la secuencia. La Fig. 2.18 muestra su estructura general y organización.

Fig. 2.18 Bloques de programación en proceso de paletizado.

Con la herramienta de referencias cruzadas se filtraron las variables por las direcciones de cada nodo, identificando de forma directa todas sus apariciones en el programa, como se muestra en la Fig. 2.19.

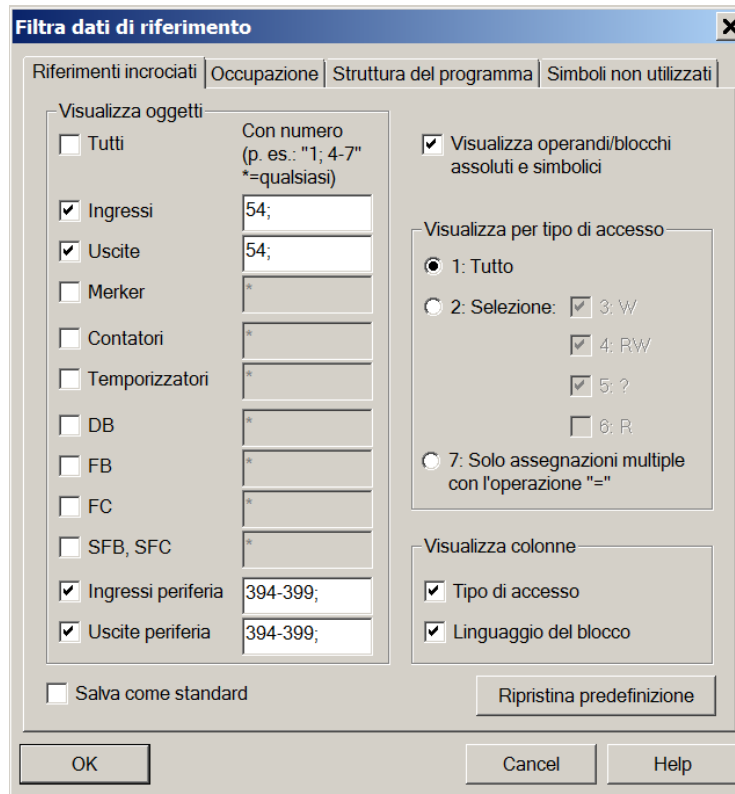


Fig. 2.19 Filtrado por referencia cruzada.

Es fundamental filtrar correctamente las variables, diferenciando entradas, salidas y tipos de señal, para asegurar un análisis preciso de cada dirección del programa.

| Programma S7(1) (Riferimenti incrociati) -- I06302_U\SIMATIC 300(1)\CPU 315-2 PN/DP | | | | | | |
|---|------------------|----|-------|-----------------------|----|-----------------------|
| Operando (simbolo) | Blocco (simbolo) | Ac | Lingu | Punto di applicazione | | Punto di applicazione |
| A 54.0 | OB1 | W | KOP | Seg | 5 | /= |
| PAW 394 | FC30 | W | KOP | Seg | 31 | /T |
| PAW 396 | FC30 | W | KOP | Seg | 31 | /T |
| PAW 398 | FC30 | W | KOP | Seg | 31 | /T |
| PEW 394 | FC90 | R | AWL | Seg | 1 | Istr: 17 ... |

Fig. 2.20 Variables ubicadas mediante referencia cruzada.

La Fig. 2.20 presenta las variables ubicadas dentro de los rangos identificados, señalando el bloque donde se usan, su acceso de lectura o escritura, el tipo de lenguaje y los segmentos asociados. Esta información se organizó posteriormente por nodo en una tabla, como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Variables utilizadas en el proceso de paletizado.

| NODO ANTIGUO | IDENTIFICACION | INICIO | FIN | TIPO | COMENTARIO | VARIABLE ANTIGUA | BLOQUE | FUNCION | LENGUAJE | DIRECCION 1 | DIRECCION 2 |
|--------------|-------------------------|--------|-----|------|--|------------------|-------------|---------|----------|--|-------------------------------------|
| 52 | trasp.tapparr.014 | 54 | 54 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT TRASP. TAPPARELLE 014 | A54.0 | OB1 | W | KOP | Seg 5 /=- | |
| 52 | trasp.tapparr.014 | 394 | 399 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 | PAW394 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 31 /T | Seg 32 /T |
| 52 | trasp.tapparr.014 | 394 | 399 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 | PAW396 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 31 /T | Seg 32 /T |
| 52 | trasp.tapparr.014 | 394 | 399 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 | PAW398 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 31 /T | Seg 32 /T |
| 52 | trasp.tapparr.014 | 394 | 399 | WORD | 1° word stato movimot trasp. tapparelle 014 | PEW394 | FC90 (FC90) | R | AWL | Seg 1 Istr 17 /L | |
| 53 | nastro entr.rotaz. | 53 | 53 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | A53.0 | OB1 | W | KOP | Seg 5 /=- | |
| 53 | nastro entr.rotaz. | 400 | 405 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | PAW400 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 36 /T | Seg 37 /T |
| 53 | nastro entr.rotaz. | 400 | 405 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | PAW402 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 36 /T | Seg 37 /T |
| 53 | nastro entr.rotaz. | 400 | 405 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | PAW404 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 36 /T | Seg 37 /T |
| 53 | nastro entr.rotaz. | 400 | 405 | WORD | 1° word stato movimot nastro entrada rotazione | PEW400 | FC90 (FC90) | R | AWL | Seg 1 Istr 19 /L | |
| 55 | nastro lento rotazione | 55 | 55 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | A55.0 | OB1 | W | KOP | Seg 5 /=- | |
| 55 | nastro lento rotazione | 55 | 55 | BOOL | FTC CONTROLLO ROTAZIONE INTASATA | E55.2 | | | | | |
| 55 | nastro lento rotazione | 346 | 351 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | PAW346 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 33 /T | Seg 34 /T |
| 55 | nastro lento rotazione | 346 | 351 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | PAW348 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 33 /T | Seg 34 /T |
| 55 | nastro lento rotazione | 346 | 351 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | PAW350 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 33 /T | Seg 34 /T |
| 55 | nastro lento rotazione | 346 | 351 | WORD | 1° word stato movimot nastro lento rotazione | PEW346 | FC90 (FC90) | R | AWL | Seg 1 Istr 11 /L | |
| 56 | nastro veloce rotazione | 56 | 56 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | A56.0 | OB1 | W | KOP | Seg 5 /=- | |
| 56 | nastro veloce rotazione | 56 | 56 | BOOL | | A56.2 | FC17 (FC17) | R | KOP | Seg 101 /UN | |
| 56 | nastro veloce rotazione | 352 | 357 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | PAW352 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 33 /T | Seg 34 /T |
| 56 | nastro veloce rotazione | 352 | 357 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | PAW354 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 33 /T | Seg 34 /T |
| 56 | nastro veloce rotazione | 352 | 357 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | PAW356 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 33 /T | Seg 34 /T |
| 56 | nastro veloce rotazione | 352 | 357 | WORD | 1° word stato movimot nastro veloce rotazione | PEW352 | FC90 (FC90) | R | AWL | Seg 1 Istr 13 /L | |
| 63 | nastro entrada divider | 93 | 93 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | A93.0 | OB1 | W | KOP | Seg 5 /=- | |
| 63 | nastro entrada divider | 93 | 93 | BOOL | SPOSTAMENTO DIVIDER VERSO CANALE -B- | A93.1 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 17 /=- | |
| 63 | nastro entrada divider | 93 | 93 | BOOL | FTC CONTEGGIO CONFEZIONI DIVIDER | E93.0 | FC17 (FC17) | R | KOP | Seg 6 /UN Seg 22 /U Seg 23 /UN Seg 24 /ON Seg 50 /ON | Seg 7 /U Seg 23 /U Seg 24 /ON |
| 63 | nastro entrada divider | 376 | 381 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | PAW376 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 29 /T | Seg 30 /T |
| 63 | nastro entrada divider | 376 | 381 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | PAW378 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 29 /T | Seg 30 /T |
| 63 | nastro entrada divider | 376 | 381 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | PAW380 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 29 /T | Seg 30 /T |
| 63 | nastro entrada divider | 376 | 381 | WORD | 1° word stato movimot nastro entrada divider | PEW376 | FC90 (FC90) | R | AWL | Seg 1 Istr 9 /L | |
| 85 | nastro pos.92 | 85 | 85 | BOOL | ALIMENTAZ. MOVIMOT TRASP. NASTRO POS.92 | A85.0 | OB1 | W | KOP | Seg 5 /=- | |
| 85 | nastro pos.92 | 442 | 447 | WORD | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO POS.92 | PAW442 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 40 /T | Seg 41 /T |
| 85 | nastro pos.92 | 442 | 447 | WORD | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO POS.92 | PAW444 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 40 /T | Seg 41 /T |
| 85 | nastro pos.92 | 442 | 447 | WORD | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO POS.92 | PAW446 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg 40 /T | Seg 41 /T |
| 85 | nastro pos.92 | 442 | 447 | WORD | 1° word stato movimot trasp. POS.92 | PEW442 | FC90 (FC90) | R | AWL | Seg 1 Istr 37 /L | |

2.2.2 Mapeo de variables

Para identificar las variables requeridas en la migración, es necesario comprender el intercambio de datos entre el PLC y el MOVIMOT. Como se muestra en la Fig. 2.21, este intercambio incluye datos de salida enviados desde el PLC al accionamiento y datos de entrada que el MOVIMOT retorna al controlador.

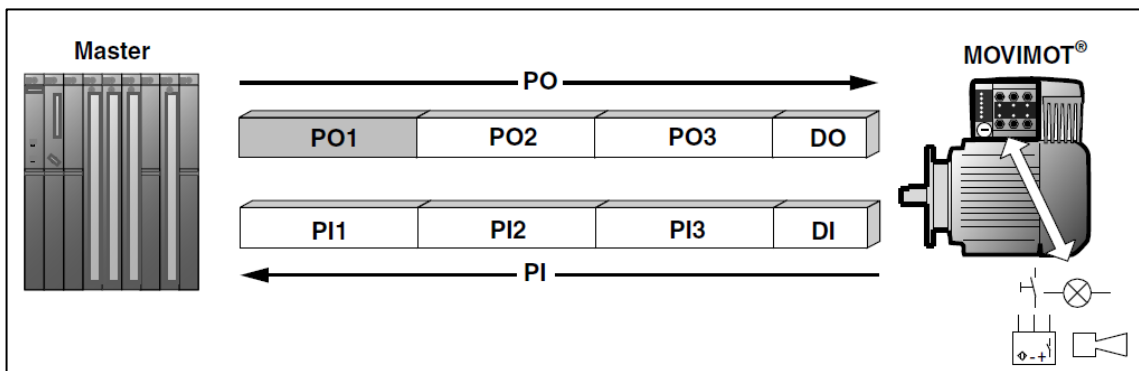


Fig. 2.21 Intercambio de datos entre PLC – MOVIMOT [23].

PO = Datos de salida de proceso

PO1 = Palabra de control

PO2 = Velocidad [%]

- PO3 = Rampa
- DO = Salidas digitales
- PI = Datos de entrada de proceso
- PI1 = Palabra de estado 1
- PI2 = Corriente de salida
- PI3 = Palabra de estado 2
- DI = Entradas digitales

En este proyecto se requerían la palabra de control, la referencia de velocidad, la rampa de aceleración y desaceleración y la palabra de estado. La Fig. 2.22 muestra los bits asignados a los datos de salida de proceso en los MOVIMOT, los cuales definen cómo el PLC gobierna cada función.

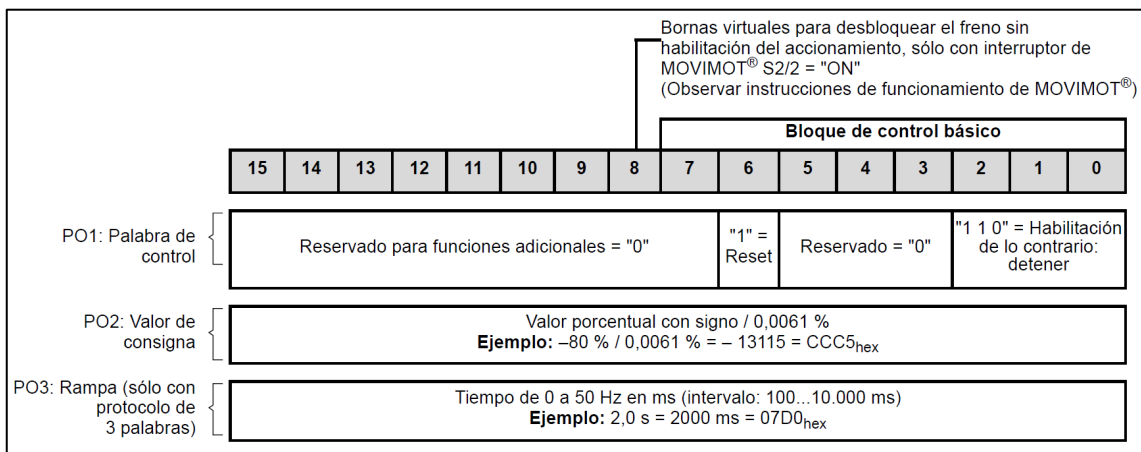


Fig. 2.22 Bits para datos de salida de proceso en MOVIMOT [23].

En la Fig. 2.23 se muestran los bits correspondientes a los datos de entrada de proceso provenientes de los accionamientos MOVIMOT, a través de los cuales el PLC recibe información de estado y diagnóstico necesaria para la supervisión del sistema.

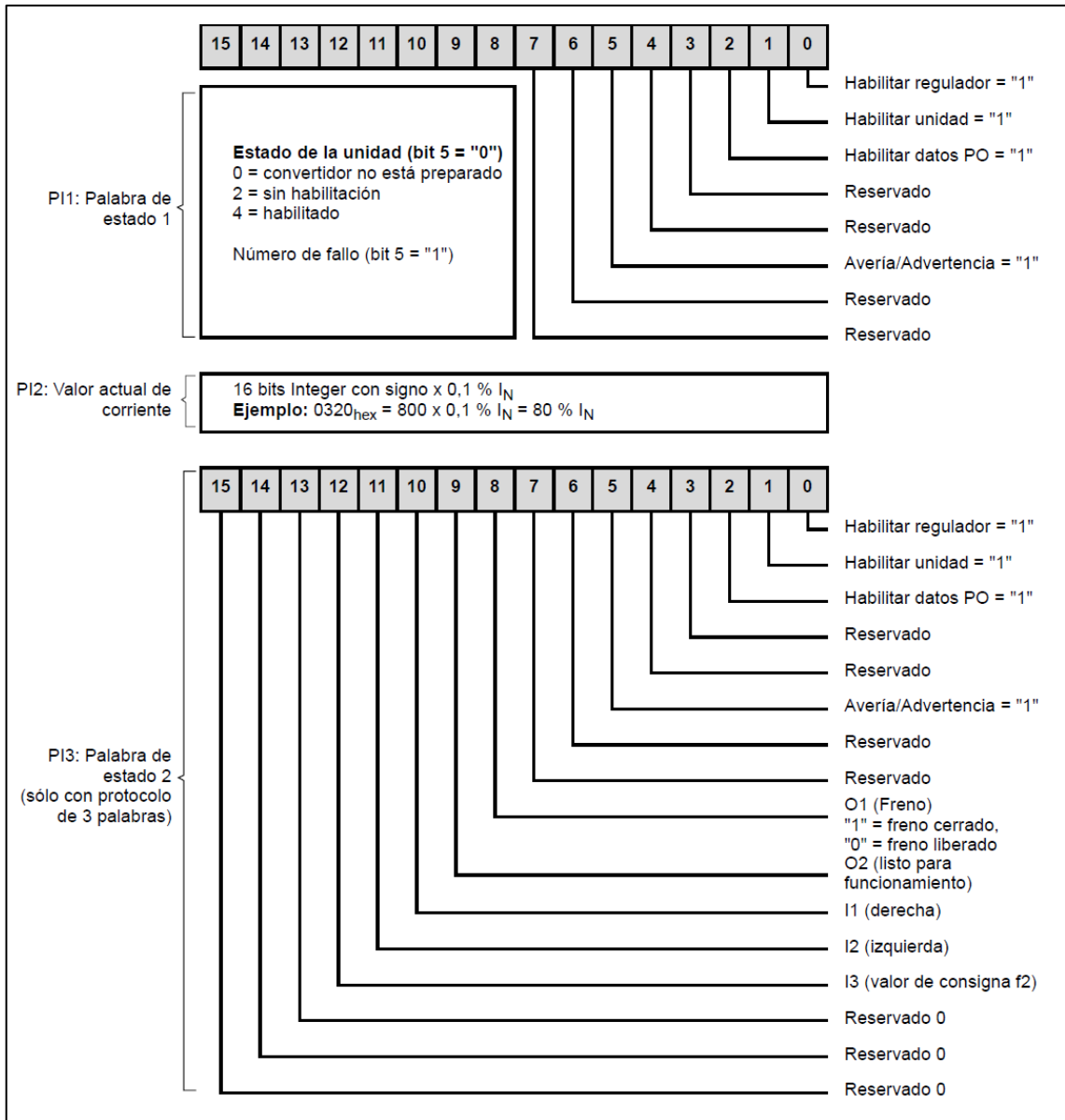


Fig. 2.23 Bits para datos de entrada de proceso en MOVIMOT [23].

La PAW 394 corresponde a la palabra de control, mediante la cual el PLC envía las órdenes principales al variador, gestionando funciones como habilitación, paro y sentido de giro.

La PAW 396 define la referencia de velocidad del motoreductor mediante un valor digital que expresa un porcentaje de la velocidad máxima configurada en el MOVIMOT, con una resolución aproximada de 0,0061 % por unidad.

A su vez, la PAW 398 establece los tiempos de aceleración y desaceleración, donde cada unidad equivale a 1 ms, permitiendo ajustar con precisión la dinámica del movimiento.

Por otro lado, la PEW 394 funciona como palabra de estado mediante la cual el MOVIMOT informa al PLC sus condiciones de operación, incluyendo habilitación, fallos, advertencias y el sentido de giro activo.

Con las direcciones identificadas en la sección 2.1.2, se rastreó la lógica asociada a estas variables dentro del programa. En SIMATIC Manager se accedió a los bloques correspondientes mediante las herramientas de búsqueda, lo que permitió ubicar los segmentos donde estaban implementadas y el lenguaje utilizado.

2.2.2.1 Nodo 52

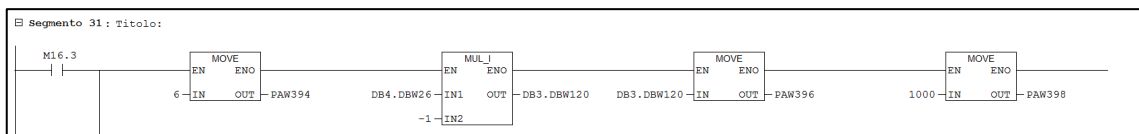


Fig. 2.24 Activación de la banda correspondiente al nodo 52.

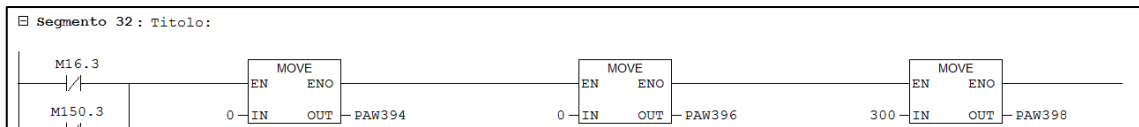


Fig. 2.25 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 52.

2.2.2.2 Nodo 53

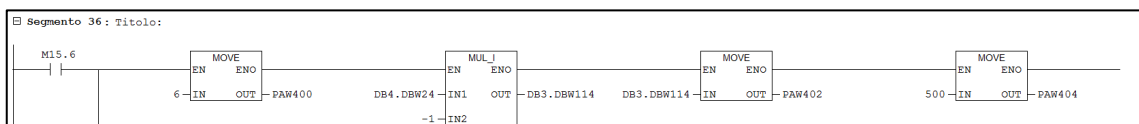


Fig. 2.26 Activación de la banda correspondiente al nodo 53.

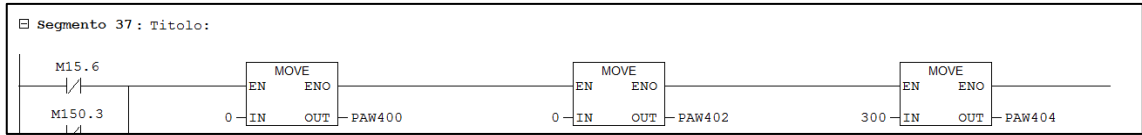


Fig. 2.27 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 53.

2.2.2.3 Nodo 55

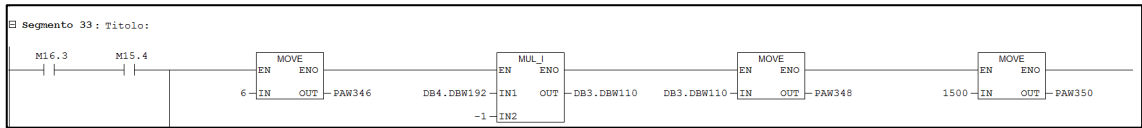


Fig. 2.28 Activación de la banda correspondiente al nodo 55.

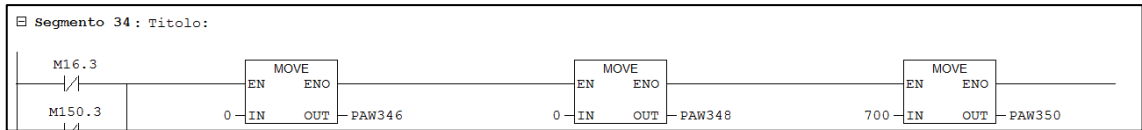


Fig. 2.29 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 55.

2.2.2.4 Nodo 56

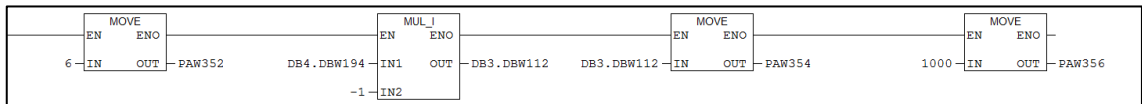


Fig. 2.30 Activación de la banda correspondiente al nodo 56.

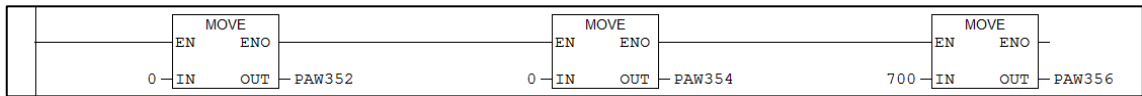


Fig. 2.31 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 56.

2.2.2.5 Nodo 63

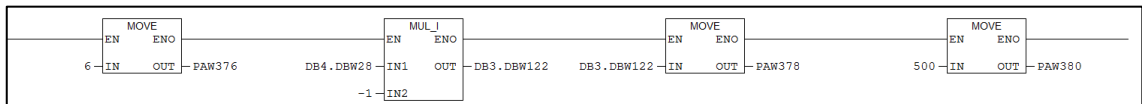


Fig. 2.32 Activación de la banda correspondiente al nodo 63.

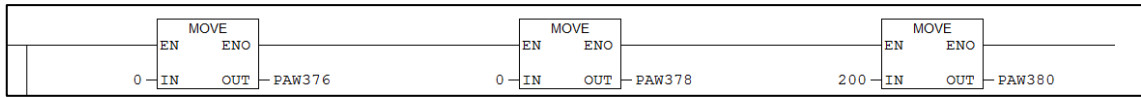


Fig. 2.33 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 63.

2.2.2.6 Nodo 85

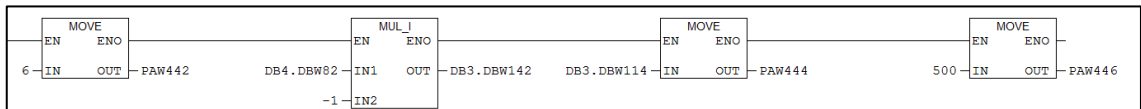


Fig. 2.34 Activación de la banda correspondiente al nodo 85.

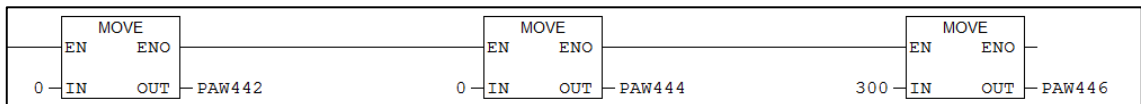


Fig. 2.35 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 85.

En las Fig. 2.24 – 2.35 se muestran los fragmentos del código identificados en SIMATIC Manager, correspondientes a las instrucciones donde se asignan las palabras analógicas de salida empleadas para el control, la rampa y la velocidad del accionamiento.

En la primera línea de cada nodo se utiliza la instrucción MOVE para cargar el valor 6 en la palabra de control, habilitando el MOVIMOT. En esta misma operación se invierte el signo del valor de referencia y se transfiere como velocidad, para luego asignar el valor de la rampa de aceleración.

En la segunda línea se aplica nuevamente la instrucción MOVE para colocar el valor 0 en la palabra de control, deshabilitando el MOVIMOT. Posteriormente se fija la velocidad en 0 y se define la rampa de paro, garantizando una transición controlada del accionamiento.

2.2.3 Integración de equipos en red PROFIBUS-DP

Una vez analizada la programación de los MOVIMOT, se procedió a integrar los variadores Danfoss a la red PROFIBUS utilizando el archivo GSD obtenido del fabricante. Este archivo, conforme al estándar PROFIBUS-DP, describe la estructura y capacidades del equipo, permitiendo su correcta identificación e incorporación al sistema [24].

En el proyecto de SIMATIC Manager se accede a la configuración de hardware y, desde esa ventana, es necesario cerrar la configuración del proyecto para añadir el archivo GSD. Este procedimiento permite cargar el nuevo dispositivo en la base de datos de hardware, como se muestra en la Fig. 2.36.

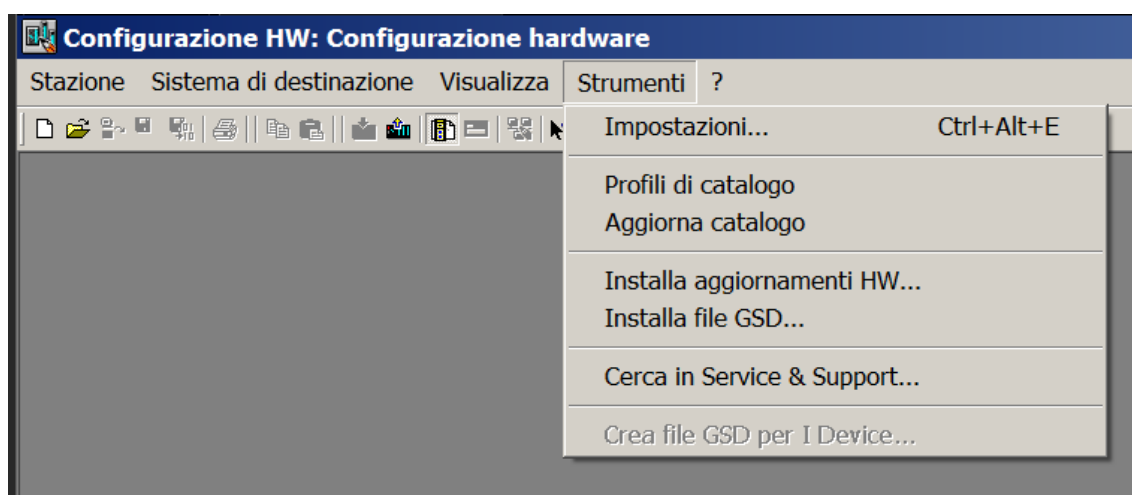


Fig. 2.36 Instalación de GSD.

Tras incorporar el archivo GSD, se inserta un nuevo objeto PROFIBUS-DP en el árbol de la red y se selecciona el variador Danfoss FC 280 como dispositivo esclavo. El resultado de esta inserción se observa en la Fig. 2.37.

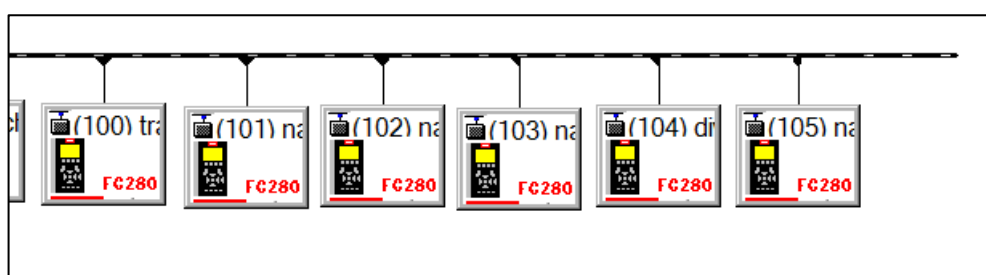


Fig. 2.37 Nuevos nodos en red PROFIBU DP.

Al insertar el nuevo objeto se abren automáticamente las propiedades del esclavo. La dirección mostrada por defecto corresponde al número de nodo asignado en la red PROFIBUS y se genera de forma consecutiva según la última dirección utilizada, como se aprecia en la Fig. 2.38.

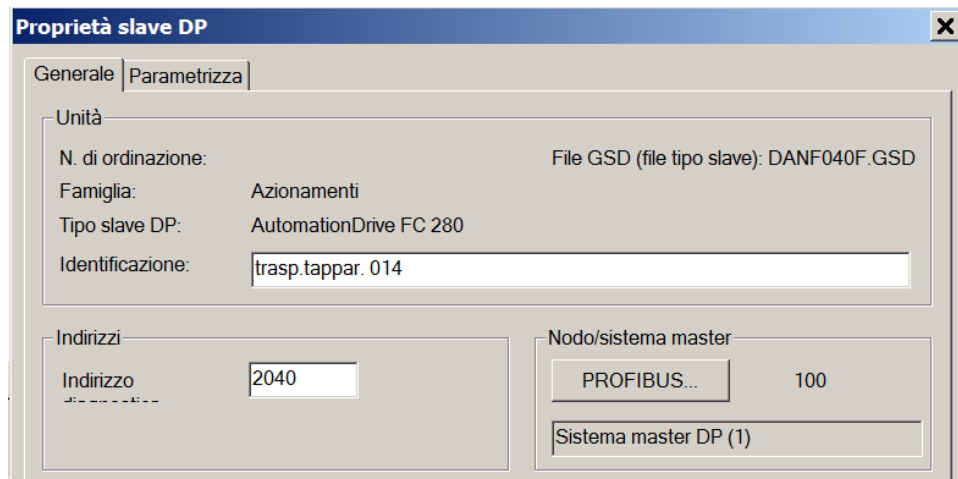


Fig. 2.38 Propiedades del nodo insertado.

Luego se añadió el Parameter Process data Object type (PPO Type, por sus siglas en inglés), formato estandarizado mediante el cual un variador o dispositivo de campo en PROFIBUS intercambia datos cíclicos con el PLC [25]. En el catálogo de hardware se seleccionó el PPO Type 6 Module Consistent PCD, ya que transmite únicamente datos de proceso, suficientes para el control operativo del accionamiento sin requerir parametrización cíclica.

La selección en modo module consistent garantiza que el bloque de datos se transfiera de forma íntegra y simultánea, evitando lecturas parciales que generen inconsistencias en las señales del variador. El resultado de esta configuración se muestra en la Fig. 2.39.

| Posto connettore | Identif. D... | Numero di ordinazione / Identificazione | Indirizzo... | Indirizzo... | Commento |
|------------------|---------------|---|--------------|--------------|----------|
| 1 | 4AX | PPO Type 6 Module consistent PCD | 500...507 | 500...507 | |
| 2 | | | | | |

Fig. 2.39 Configuración del nodo.

2.2.4 Agregado de nuevas variables

Se procedió a modificar los símbolos asociados al PPO Type, asignando un nombre identificativo a cada una de las direcciones utilizadas, así como un comentario descriptivo que facilite su interpretación dentro de la programación. Esta asignación puede observarse en la Fig. 2.40.

| Modifica simboli | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|-------------------|
| | Indirizzo | Simbolo | Tipo di | Commento |
| 1 | PEW 500 | | WORD | |
| 2 | PEW 502 | | WORD | |
| 3 | PEW 504 | | WORD | |
| 4 | PEW 506 | | WORD | |
| 5 | PAW 500 | PAW500 | WORD | Control word |
| 6 | PAW 502 | PAW502 | WORD | Velocidad |
| 7 | PAW 504 | PAW504 | WORD | Rampa de subida |
| 8 | PAW 506 | PAW506 | WORD | Rampa de bajadaSs |

Fig. 2.40 Direcciones para tipo de dato word utilizadas.

Este procedimiento se aplicó del mismo modo a los demás nodos de la red, obteniéndose la información consolidada presentada en la Tabla 2.2, donde se muestran las variables asignadas a cada nodo y las direcciones correspondientes.

En la mayoría de los casos, los nodos comparten la misma estructura: palabra de control, consigna de velocidad y rampa. Esta última se divide en dos direcciones independientes, una para el tiempo de aceleración y otra para el de desaceleración.

Tabla 2.2 Nodos y variables para la nueva programación.

| NODO ANTIGUO | NODO NUEVO | IDENTIFICACION | INICIO ANTIGUO | FIN ANTIGUO | INICIO NUEVO | FIN NUEVO | COMENTARIO | VARIABLE ANTIGUA | VARIABLE NUEVA | BLOQUE | FUNCIÓN | LENGUAJE | DIRECCION 1 | DIRECCION 2 |
|--------------|------------|-------------------------|----------------|-------------|--------------|-----------|--|------------------|----------------|-------------|---------|----------|-------------|-------------|
| 52 | 100 | trasp.tappar.014 | | | | | CONTROL WORD AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 | PAW394 | PAW500 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 31 /T | Seg. 32 /T |
| 52 | 100 | trasp.tappar.014 | 394 | 399 | 500 | 507 | VELOCITA' AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 | PAW396 | PAW502 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 31 /T | Seg. 32 /T |
| 52 | 100 | trasp.tappar.014 | | | | | RAMPA AL MOVIMOT TAPPARELLE 014 | PAW398 | PAW504 PAW506 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 31 /T | Seg. 32 /T |
| 53 | 101 | nastro entr.rotaz. | | | | | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | PAW400 | PAW508 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 36 /T | Seg. 37 /T |
| 53 | 101 | nastro entr.rotaz. | 400 | 405 | 508 | 515 | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | PAW402 | PAW510 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 36 /T | Seg. 37 /T |
| 53 | 101 | nastro entr.rotaz. | | | | | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA ROTAZIONE | PAW404 | PAW512 PAW514 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 36 /T | Seg. 37 /T |
| 55 | 102 | nastro lento rotazione | | | | | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | PAW346 | PAW516 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 33 /T | Seg. 34 /T |
| 55 | 102 | nastro lento rotazione | 346 | 351 | 516 | 523 | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | PAW348 | PAW518 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 33 /T | Seg. 34 /T |
| 55 | 102 | nastro lento rotazione | | | | | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO LENTO ROTAZIONE | PAW350 | PAW520 PAW522 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 33 /T | Seg. 34 /T |
| 56 | 103 | nastro veloce rotazione | | | | | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | PAW352 | PAW524 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 33 /T | Seg. 34 /T |
| 56 | 103 | nastro veloce rotazione | 352 | 357 | 524 | 531 | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | PAW354 | PAW526 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 33 /T | Seg. 34 /T |
| 56 | 103 | nastro veloce rotazione | | | | | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO VELOCE ROTAZIONE | PAW356 | PAW528 PAW530 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 33 /T | Seg. 34 /T |
| 63 | 104 | nastro entrata divider | | | | | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | PAW376 | PAW532 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 51 /T | Seg. 52 /T |
| 63 | 104 | nastro entrata divider | 376 | 381 | 532 | 539 | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | PAW378 | PAW534 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 51 /T | Seg. 52 /T |
| 63 | 104 | nastro entrata divider | | | | | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO ENTRATA DIVIDER | PAW380 | PAW536 PAW538 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 51 /T | Seg. 52 /T |
| 85 | 105 | nastro pos.92 | | | | | CONTROL WORD AL MOVIMOT NASTRO POS.92 | PAW442 | PAW540 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 40 /T | Seg. 41 /T |
| 85 | 105 | nastro pos.92 | 442 | 447 | 540 | 547 | VELOCITA' AL MOVIMOT NASTRO POS.92 | PAW444 | PAW542 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 40 /T | Seg. 41 /T |
| 85 | 105 | nastro pos.92 | | | | | RAMPA AL MOVIMOT NASTRO POS.92 | PAW446 | PAW544 PAW546 | FC30 (FC30) | W | KOP | Seg. 40 /T | Seg. 41 /T |

2.2.5 Programación del PLC

Por indicación del cliente, la programación existente no debía reemplazarse, sino ampliarse. Mediante referencias cruzadas se identificaron las variables a sustituir

y, siguiendo la lógica previa, se añadió programación en paralelo a las rutinas de habilitación y deshabilitación de los MOVIMOT.

Para el VFD Danfoss, y conforme a la Tabla 2.3, la palabra de control está formada por 16 bits. En este proyecto se emplearon los siguientes valores:

- Activación: 0000 0100 0111 1111 → 047F hex
- Stop: 0000 0100 0011 1111 → 043F hex

Tabla 2.3 Bits para la palabra de control en DANFOSS [25].

| Bit | Bit = 0 | Bit = 1 |
|-----|-----------------------|---------------|
| 00 | OFF 1 | ON 1 |
| 01 | OFF 2 | ON 2 |
| 02 | OFF 3 | ON 3 |
| 03 | Coasting | No coasting |
| 04 | Quick stop | Ramp |
| 05 | Hold frequency output | Use ramp |
| 06 | Ramp stop | Start |
| 07 | No function | Reset |
| 08 | Jog 1 OFF | Jog 1 ON |
| 09 | Jog 2 OFF | Jog 2 ON |
| 10 | Data invalid | Data valid |
| 11 | No function | Slow down |
| 12 | No function | Catch up |
| 13 | Parameter set-up | Selection lsb |
| 14 | Parameter set-up | Selection msb |
| 15 | No function | Reverse |

En la programación original, el valor de velocidad se multiplicaba por -1 para definir el sentido de giro del MOVIMOT. Sin embargo, esta inversión podía resolverse mediante lógica interna, mediante la parametrización del nuevo variador o incluso mediante la inversión de fases, por lo que no fue necesario conservarla y la velocidad se mantuvo según la referencia existente.

Los valores de rampa también se mantuvieron, aunque debieron asignarse a variables independientes para representar por separado los tiempos de aceleración y desaceleración, conforme a la estructura del telegrama del VFD Danfoss.

Finalmente, en la ampliación se emplearon las nuevas direcciones de control, velocidad y rampa correspondientes al variador Danfoss, cuya implementación se muestra en las Fig. 2.41–2.52.

2.2.5.1 Nodo 100

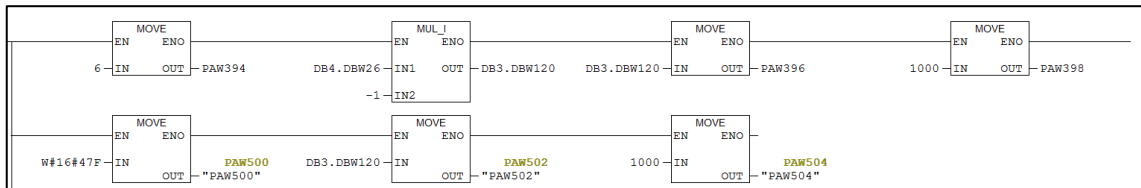


Fig. 2.41 Activación de la banda correspondiente al nodo 100.

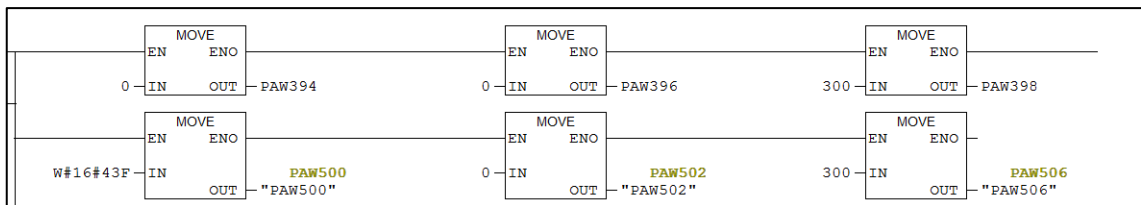


Fig. 2.42 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 100.

2.2.5.2 Nodo 101

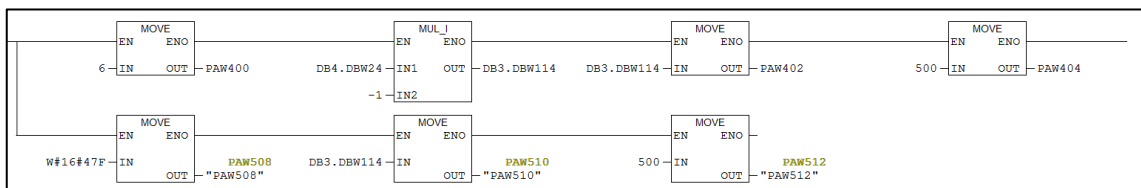


Fig. 2.43 Activación de la banda correspondiente al nodo 101

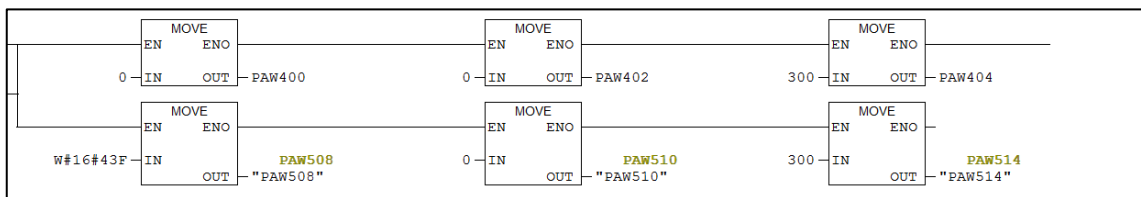


Fig. 2.44 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 101.

2.2.5.3 Nodo 102

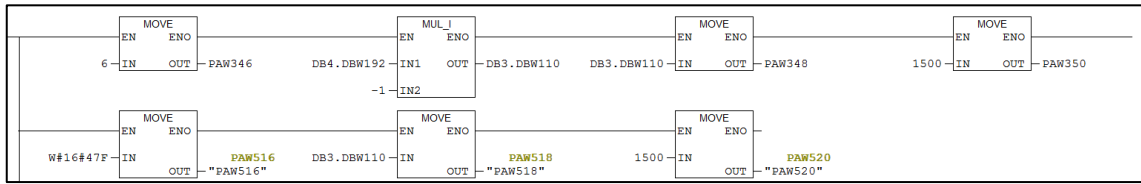


Fig. 2.45 Activación de la banda correspondiente al nodo 102.

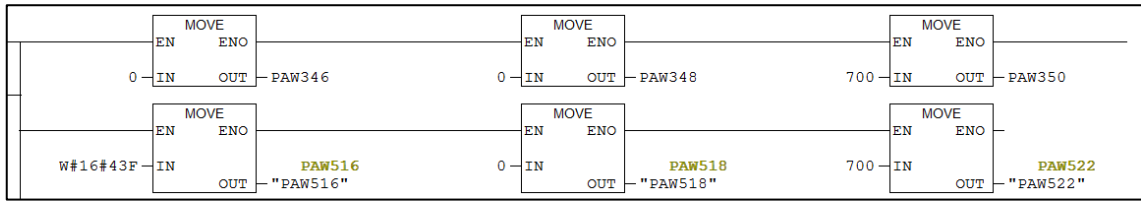


Fig. 2.46 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 102.

2.2.5.4 Nodo 103

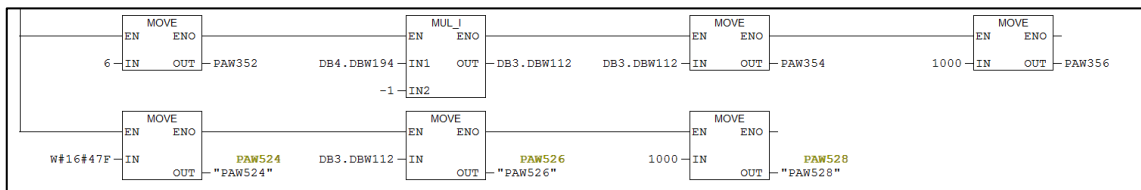


Fig. 2.47 Activación de la banda correspondiente al nodo 103.

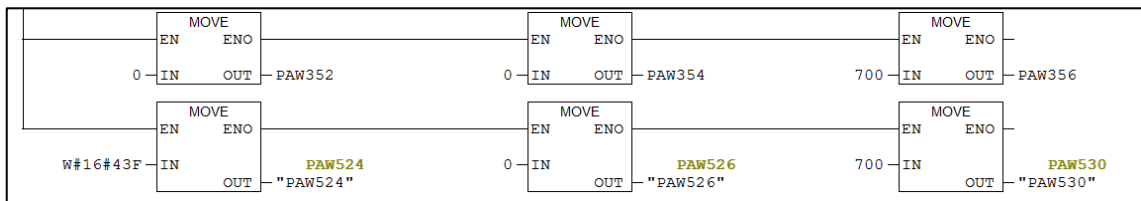


Fig. 2.48 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 103.

2.2.5.5 Nodo 104

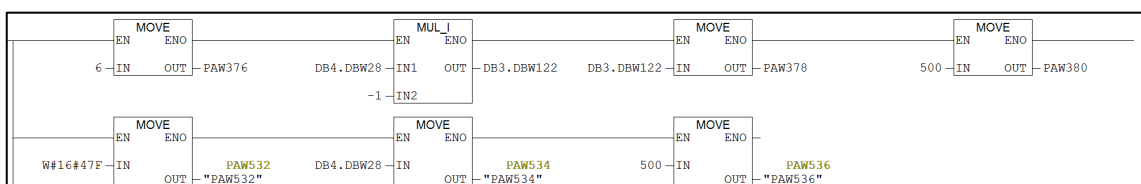


Fig. 2.49 Activación de la banda correspondiente al nodo 104.

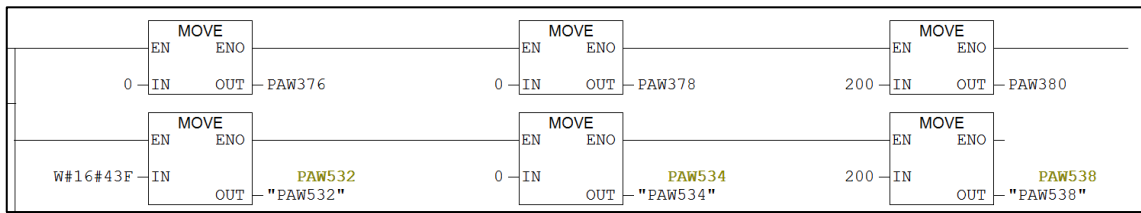


Fig. 2.50 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 104.

2.2.5.6 Nodo 105

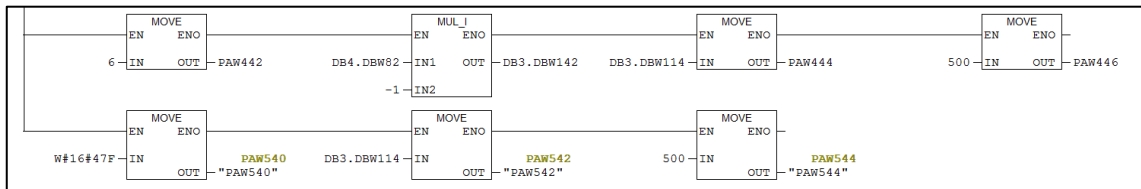


Fig. 2.51 Activación de la banda correspondiente al nodo 105.

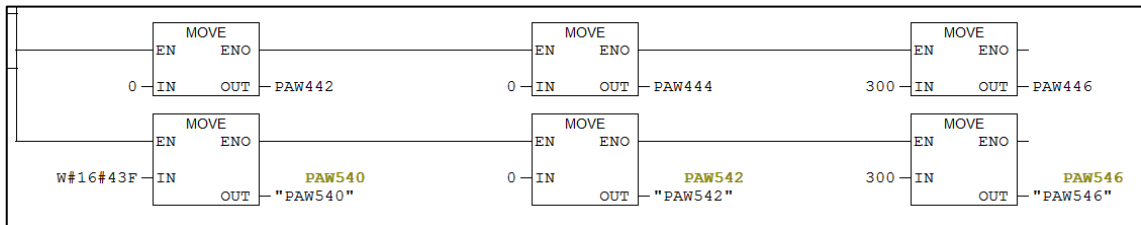
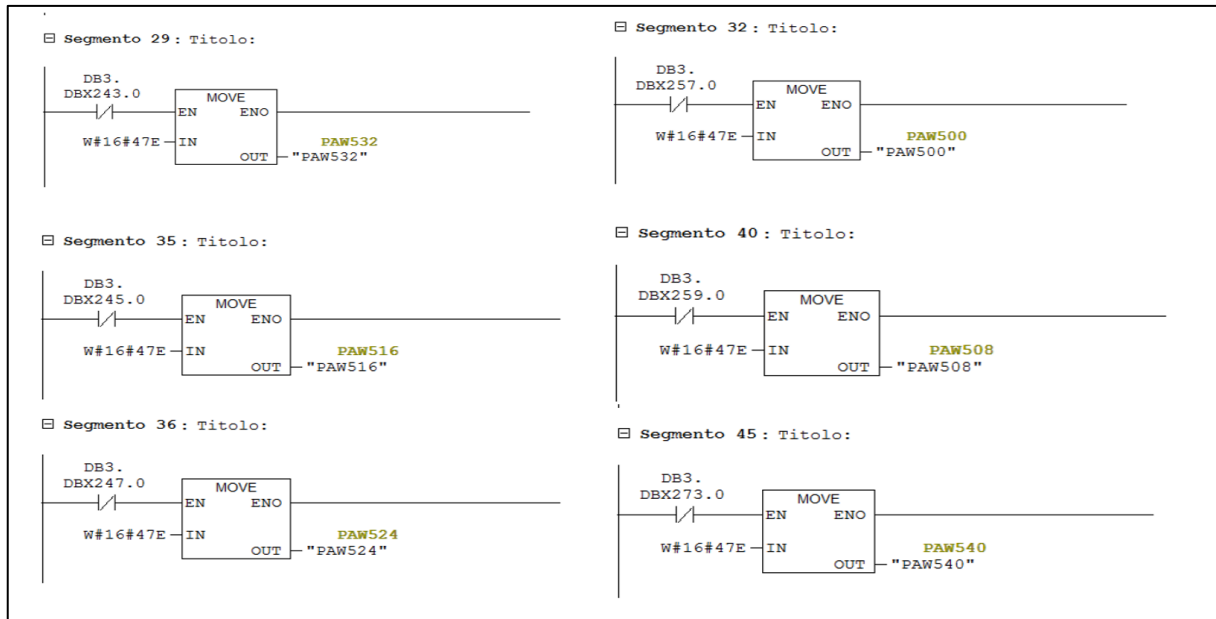


Fig. 2.52 Desactivación de la banda correspondiente al nodo 105.

2.2.5.7 Desbloqueo de variadores

Adicionalmente, se implementó una lógica de control en el bloque de organización FC30, la cual se muestra en la Figura 2.53. Dicha programación corresponde al desbloqueo de los módulos MOVIMOT, condición necesaria para permitir su posterior activación y desactivación durante la operación del sistema.

El desbloqueo se ejecuta mediante las variables que activan los bloques MOVE para enviar las palabras de control de cada variador.



2.53 Desbloqueo de VFD.

2.2.6 Diseño de tablero de control

2.2.6.1 Dimensionamiento y Diseño Mecánico del Tablero

El diseño del tablero, mostrado en la Figura 2.55, se desarrolló conforme a los requerimientos del cliente, seleccionándose un tablero de 2000 mm de alto por 1000 mm de ancho. Estas dimensiones también favorecen la gestión térmica, ya que el volumen interno permite una mejor disipación natural y mejora el desempeño de los ventiladores superiores, considerando la presencia de seis variadores que generan calor por conmutación. Además, el diseño incorpora una reserva de espacio en la zona inferior, cumpliendo el criterio de dimensionamiento previsto para futuras ampliaciones sin necesidad de reemplazar el tablero.

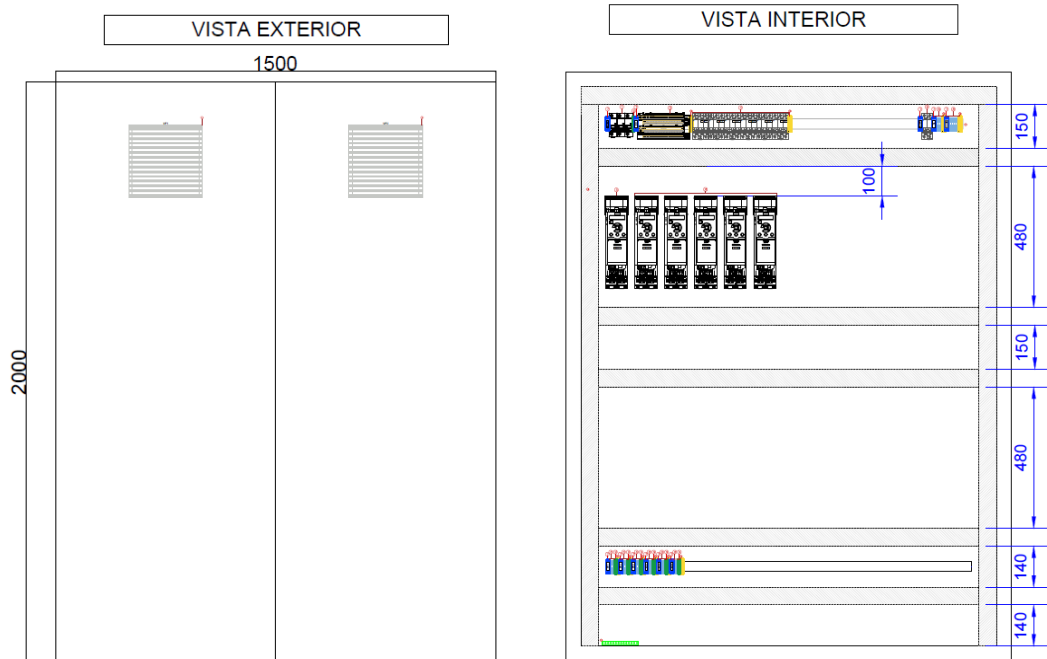


Fig. 2.54 Diseño del tablero en AutoCAD.

2.2.6.2 Selección y Dimensionamiento de Protecciones

Se implementaron circuitos con conductor 12 AWG y disyuntores de 10 A. Si bien el manual del fabricante recomienda protecciones de hasta 20 A (tipo gG) para este rango de potencia, se optó por reducir el calibre a 10 A tras verificar el consumo real de los motorreductores. Esta decisión, validada bajo la norma IEC 60364-4-43, permite una protección mucho más sensible y ajustada que la sugerida genéricamente en el catálogo. Al reducir el umbral de disparo de 20 A a 10 A, se garantiza una desconexión más rápida ante fallas leves, protegiendo con mayor efectividad tanto al variador como al conductor, sin riesgo de disparos intempestivos [14]. La lista de materiales se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Lista de materiales.

| LISTA DE MATERIALES | | | |
|---------------------|-------|-----------------|---|
| ITEM | CANT. | REFERENCIA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 1 | 5SL6204-7CC | Breaker termomagnético 3P 125A Riel DIN |
| 2 | 1 | 400409 | Repartidor 4P 125A, 15 puntos |
| 3 | 6 | 2CDS253001R0104 | Breaker termomagnetico 3P 10A Riel DIN |
| 4 | 1 | 2CDS252001R0044 | Breaker termomagnetico 2P 4A Riel DIN |

| | | | |
|----|----|----------------|---|
| 5 | 1 | 134U7747 | VLT Drive FC 280 1.5 KW |
| 6 | 5 | 134U3026 | VLT Drive FC 280 2.2 KW |
| 7 | 11 | CHT-571002 | Bornera portaetiqueta, 44.5 x 9.5 mm, paso: 5.00 mm, color beige. |
| 8 | 28 | TBL 2.5 GREY | Bornera de paso. Conexión brida-tornillo. Beige oscuro, 2.5 mm ² , 24 A, 800 V. Número de conexiones: 2 |
| 9 | 7 | NTT 2,5 E YG | Bornera de puesta a tierra (PE), conexión por tornillo, color verde/amarillo, 2.5 mm ² , 800 V, número de conexiones: 2, número de niveles: 1, clasificación V-0 |
| 10 | 10 | SS 1 GREY | Bornera de tope, color beige oscuro, 56x1,5 mm, clasificación V-0, no es de encaje a presión |
| 11 | 2 | RIEL-EBS-DR-2M | Riel DIN TS 35X7.5 (mm)/LL/6 2M/ST/ZN |
| 12 | 8 | AD-5.5L | Canaleta ranurada plástica con tapa 60x60x2000 (mm) |
| 13 | 2 | N/A | Ventilador, 220 Vac, 25x25cm, con rejillas |
| 14 | 2 | N/A | Rejillas con filtro, IP 42, de 25x25cm |
| 15 | 1 | N/A | Barra colectora de puesta a tierra 125A, 12 puntos |

2.2.7 Configuración de variadores

Para la configuración de los variadores se emplean los datos de placa de los motorreductores utilizados: cinco unidades de 1.5 kW (AAP90L4A) y una de 2.2 kW (AAP100L4B) de la marca I.MAK. La parametrización se realiza mediante el software MCT 10 Set-up, herramienta oficial de Danfoss para la programación de los VLT.

El proceso de configuración puede iniciarse de dos formas: modificando un respaldo del variador energizado o creando un proyecto nuevo en MCT 10. En este trabajo se adopta la segunda opción, seleccionando el modelo del VLT correspondiente para partir de una configuración limpia y estructurada. La Figura 2.55 ilustra la incorporación del accionamiento al proyecto.

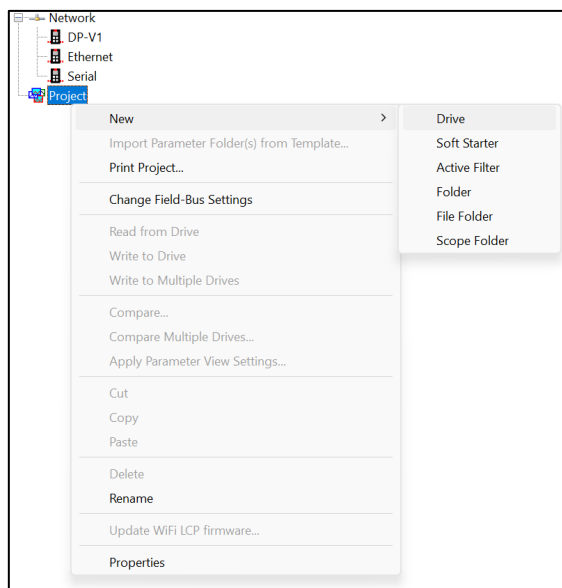


Fig. 2.55 Integración de nuevo drive al proyecto.

En esta etapa se incorpora la información inicial del modelo seleccionado, como se observa en las Fig 2.56 y 2.57 para los variadores de 1.5 kW y 2.2 kW. Para su identificación dentro del proyecto, en el campo *Drive Name* se asigna la nomenclatura “M#motor–N#nodo; FC-280 #potencia 380–480 V”, lo que permite mantener una referencia uniforme durante la parametrización y en el análisis posterior del sistema.

Fig. 2.56 Información principal del variador 1.50kW.

Fig. 2.57 Información principal del variador 2.20kW.

Una vez incorporado el drive al proyecto, el árbol de navegación despliega todos los grupos de parámetros asociados, como se muestra en la Fig 2.58. Para una descripción detallada de las opciones de configuración y del funcionamiento de cada grupo, se recomienda consultar la *Guía de Funcionamiento del VLT Midi Drive FC 280* [14].

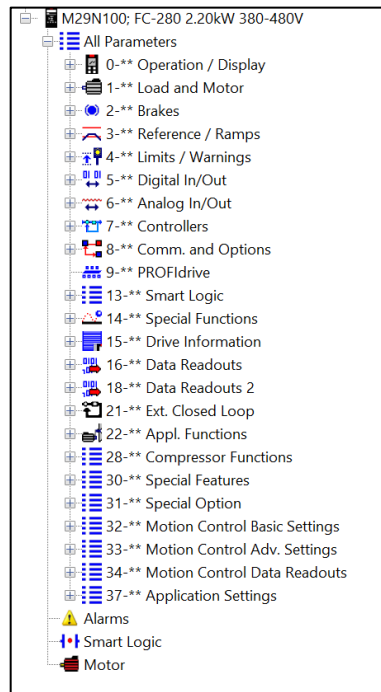


Fig. 2.58 Parámetros del VLT.

Para iniciar la configuración es necesario realizar una preparación previa, ya que debe ejecutarse la prueba de Adaptación automática del motor (AMA, por sus siglas en inglés) en el VLT. Esta prueba permite que el variador identifique los parámetros eléctricos reales del motor y genere un modelo matemático preciso, optimizando la regulación de corriente y la respuesta dinámica del conjunto motor–variador [14].

Los parámetros por ajustar se resumen en la Tabla 2.5. El parámetro 6 establece las condiciones de red (tensión, frecuencia y tipo de conexión), mientras que el parámetro 512 define la función de la entrada digital 27. Dado que esta entrada corresponde a una orden externa de paro a 24 VCC y no será utilizada en el

proyecto, debe desactivarse para asegurar el funcionamiento adecuado del variador.

Tabla 2.5 Parámetros para configuración inicial.

| ID | DESCRIPCIÓN |
|-----|---------------------------|
| 006 | GridType |
| 120 | Motor Power |
| 122 | Motor Voltage |
| 123 | Motor Frequency |
| 124 | Motor Current |
| 125 | Motor Nominal Speed |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque |
| 512 | Terminal 27 Digital Input |

En las Figura. 2.59 y 2.60 se presentan únicamente los parámetros cuya configuración fue modificada para la ejecución de la prueba AMA. Los valores *1st Value* corresponden a la parametrización de fábrica, mientras que *2nd Value* representan los valores ajustados para la prueba. Cualquier parámetro no incluido en la comparación mantiene su configuración original.

| ID | Name | 1st Setup# | 2nd Setup# | 1st Value | 2nd Value |
|-----|---------------------------|------------|------------|------------------|---------------|
| 006 | GridType | 1 | 1 | 380-440V/50Hz | 380-440V/60Hz |
| 120 | Motor Power | 1 | 1 | 0.37 kW - 0.5 hp | 1.5 kW - 2 hp |
| 122 | Motor Voltage | 1 | 1 | 400 | 460 |
| 123 | Motor Frequency | 1 | 1 | 50 | 60 |
| 124 | Motor Current | 1 | 1 | 3.80 | 3.40 |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1 | 1 | 1420 | 1740 |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 1 | 1 | 7.2 | 9.3 |
| 176 | Start Current | 1 | 1 | 3.80 | 3.30 |
| 512 | Terminal 27 Digital Input | 1 | 1 | Coast inverse | No operation |

Fig. 2.59 Parámetros de fábrica y modificados para prueba AMA en VLT de 1.5kW.

| ID | Name | 1st Setup# | 2nd Setup# | 1st Value | 2nd Value |
|-----|---------------------------|------------|------------|-------------------|---------------|
| 006 | GridType | 1 | 1 | 380-440V/50Hz | 380-440V/60Hz |
| 120 | Motor Power | 1 | 1 | 0.55 kW - 0.75 hp | 2.2 kW - 3 hp |
| 122 | Motor Voltage | 1 | 1 | 400 | 460 |
| 123 | Motor Frequency | 1 | 1 | 50 | 60 |
| 124 | Motor Current | 1 | 1 | 5.30 | 6.40 |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1 | 1 | 1420 | 1740 |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 1 | 1 | 9.0 | 18.0 |
| 176 | Start Current | 1 | 1 | 5.30 | 6.30 |
| 512 | Terminal 27 Digital Input | 1 | 1 | Coast inverse | No operation |

Fig. 2.60 Parámetros de fábrica y modificados para prueba AMA en VLT de 2.2kW.

Una vez actualizados los parámetros iniciales, se establece la conexión con el VLT mediante el enlace USB A–B. Luego, en MCT 10, se ejecuta la opción *Write to Drive* para transferir la configuración necesaria antes de iniciar la prueba AMA, procedimiento que se repite para cada variador.

Posteriormente, se realiza el conexionado eléctrico del motorreductor y se habilita el parámetro 129 para activar el modo AMA. El variador solicita operar en modo *HAND ON*, condición requerida para ejecutar la autoidentificación. Durante aproximadamente un minuto, el VLT ejecuta la caracterización eléctrica del motor y ajusta su modelo interno.

Concluida la prueba, se retorna al modo manual para verificar el funcionamiento adecuado del motorreductor. Finalmente, los parámetros resultantes de la autoidentificación quedan actualizados, tal como se presenta en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Parámetros autoconfigurados mediante prueba AMA.

| ID | Name |
|-----|-------------------------------|
| 130 | Stator Resistance (Rs) |
| 131 | Rotor Resistance (Rr) |
| 133 | Stator Leakage Reactance (X1) |
| 135 | Main Reactance (Xh) |

A continuación, se procede a ajustar parámetros adicionales con el fin de optimizar el rendimiento operativo del variador y su interacción con el motorreductor. El resultado de estas parametrizaciones se presenta en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Parametrización de variadores.

| ID | Name | FINAL NODO 100 | FINAL NODO 101 | FINAL NODO 102 | FINAL NODO 103 | FINAL NODO 104 | FINAL NODO 105 |
|-------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Language | Español | Español | Español | Español | Espanol | Espanol |
| 6 | GridType | 380-440 V / 60 Hz | 380-440 V / 60 Hz | 380-440 V / 60 Hz | 380-440V/60Hz | 380-440V/60Hz | 380-440V/60Hz |
| 16 | Application Selection | Speed Open Loop | Speed Open Loop | Speed Open Loop | Speed Open Loop | Speed Open Loop | Speed Open Loop |
| 120 | Motor Power | 2.2 kW - 3 hp | 1.5 kW - 2 hp | 1.5 kW - 2 hp | 1.5 kW - 2 hp | 1.5 kW - 2 hp | 1.5 kW - 2 hp |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 | 460 |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 124 | Motor Current | 6.4 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 18 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 |
| 130 | Stator Resistance (Rs) | 1.588 | 3.930 | 4.030 | 3.933 | 3.871 | 3.995 |
| 131 | Rotor Resistance (Rr) | 1.244 | 2.547 | 2.582 | 2.534 | 2.485 | 2.546 |
| 133 | Stator Leakage Reactance (X1) | 3.232 | 5.339 | 5.280 | 5.342 | 5.447 | 5.190 |
| 135 | Main Reactance (Xh) | 73.43 | 123.80 | 128.42 | 136.11 | 125.33 | 128.65 |
| 175 | Start Speed [Hz] | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 176 | Start Current | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 303 | Maximum Reference | 75000 | 75.000 | 75.000 | 75.000 | 75.000 | 75.000 |
| 316 | Reference 2 Source | No function | No function | No function | No function | No function | No function |
| 414 | Motor Speed High Limit [Hz] | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 418 | Current Limit | 130 | 155 | 155 | 155 | 155 | 155 |
| 419 | Max Output Frequency | 144.0 | 144.0 | 144.0 | 144.0 | 144.0 | 144.0 |
| 441 | Warning Freq. High | 75.0 | 75.0 | 75.0 | 75.0 | 75.0 | 75.0 |
| 512 | Terminal 27 Digital Input | No operation | No operation | No operation | No operation | No operation | No operation |
| 540 | Function Relay | Drive Ready | Drive Ready | Drive ready | Drive ready | Drive ready | Drive ready |
| 691 | Terminal 42 Analog Output | Motor Current | Motor Current | Motor Current | Motor Current | Motor Current | Motor Current |
| 801 | Control Site | Control word only | Controlword only | Controlword only | Controlword only | Controlword only | Controlword only |
| 810 | Control Word Profile | PROFIdrive profile | PROFIdrive profile | PROFIdrive profile | PROFIdrive profile | PROFIdrive profile | PROFIdrive profile |
| 831 | Address | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 |
| 842.2 | PCD Write Configuration | [341] Ramp 1 Ramp up time | [341] Ramp 1 Ramp up time | [341] Ramp 1 Ramp up time | [341] Ramp 1 Ramp up time | [341] Ramp 1 Ramp up time | [341] Ramp 1 Ramp up time |
| 842.3 | PCD Write Configuration | [342] Ramp 1 Ramp down time | [342] Ramp 1 Ramp down time | [342] Ramp 1 Ramp down time | [342] Ramp 1 Ramp down time | [342] Ramp 1 Ramp down time | [342] Ramp 1 Ramp down time |
| 850 | Coasting Select | Logic AND | Logic AND | Logic AND | Logic AND | Logic AND | Logic AND |
| 915.2 | PCD Write Configuration | Ramp 1 Ramp Up Time | Ramp 1 Ramp Up Time | Ramp 1 Ramp Up Time | Ramp 1 Ramp Up Time | Ramp 1 Ramp Up Time | Ramp 1 Ramp Up Time |
| 915.3 | PCD Write Configuration | Ramp 1 Ramp Down Time | Ramp 1 Ramp Down Time | Ramp 1 Ramp Down Time | Ramp 1 Ramp Down Time | Ramp 1 Ramp Down Time | Ramp 1 Ramp Down Time |
| 918 | Node Address | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 |

2.2.8 Pruebas de operación simultánea

Las pruebas de operación simultánea se realizaron con el fin de validar la compatibilidad funcional entre los variadores Danfoss y los módulos MOVIMOT, manteniendo ambos sistemas activos. Para ello, los motorreductores fueron conectados a los variadores Danfoss y se evaluó que las secuencias de arranque, parada, incremento y decremento de velocidad reprodujeran el comportamiento definido por la lógica original. Estas pruebas se ejecutaron tanto en modo manual como en modo automático, verificando que, ante las mismas condiciones de operación, ambos sistemas respondieran de manera funcionalmente equivalente. Dado que la nueva programación fue implementada en paralelo con la lógica existente, se requirió esta equivalencia operativa. La disposición de la conexión de los motorreductores se muestra en la Figura. 2.61.



Fig. 2.61 Motores conectados para prueba de operación simultánea.

CAPÍTULO 3

3.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1.1 Tablero de control

La implementación del tablero de control centralizado permitió alojar los seis variadores de frecuencia Danfoss VLT FC-280 conforme a la distribución definida en la etapa de diseño. En las Fig. 3.1 a 3.3 se presenta el tablero de control una vez armado, evidenciándose la ubicación física de los variadores y los componentes asociados. Por su parte, en la Fig. 3.4 se muestra el conexionado de fuerza y de comunicación entre el nuevo tablero de control y el tablero previamente existente en planta.

Durante la verificación física del tablero se comprobó que el conexionado eléctrico corresponde a los esquemas aprobados y que la canalización interna mantiene una disposición ordenada del cableado, facilitando el acceso a los componentes para inspección y pruebas.



Fig. 3.1 Tablero abierto.



Fig. 3.2 Tablero vista interior.



Fig. 3.3 Tablero vista exterior.



Fig. 3.4 Conexión entre tableros.

3.1.2 Resultados de la integración en la red PROFIBUS-DP

La integración de los variadores de frecuencia Danfoss FC-280 a la red PROFIBUS-DP permitió el intercambio de datos cíclicos de control y estado entre el PLC Siemens S7-300 y cada accionamiento, conforme a la configuración de comunicación definida. El correcto reconocimiento de los variadores dentro de la red PROFIBUS-DP se evidencia en la Fig. 3.5, donde se muestran los dispositivos

activos y sus direcciones asignadas. Asimismo, en la Fig. 3.6 se observa el panel de cada variador, en el cual se visualiza el nodo PROFIBUS correspondiente, confirmando la correcta vinculación de los accionamientos a la red de comunicación.

Durante las pruebas de comunicación se observó la transmisión continua de las palabras de control y estado, así como de la referencia de velocidad y los tiempos de aceleración y desaceleración, sin eventos que interrumpieran la operación durante el período de prueba.

La configuración aplicada, que incluyó la selección del tipo de PPO y la asignación de direcciones de red, permitió mantener una comunicación estable entre el PLC y los variadores bajo las condiciones evaluadas.

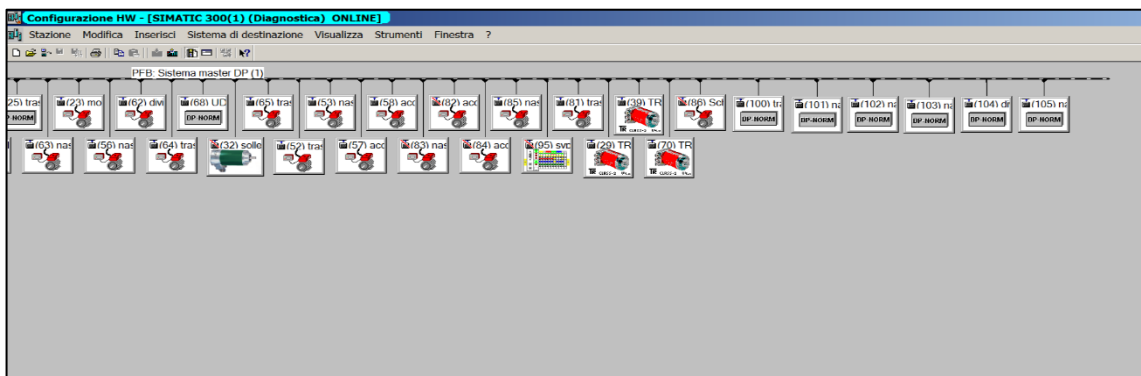


Fig. 3.5 Red PROFIBUS-DP con nuevos nodos.



Fig. 3.6 VFD con sus respectivos nodos.

3.1.3 Resultados de la parametrización de los variadores de frecuencia

La parametrización de los variadores de frecuencia Danfoss VLT FC-280 se realizó en función de las características nominales de los motores y de los requerimientos operativos del proceso de paletizado, utilizando la información de placa de cada accionamiento.

Se configuró la comunicación PROFIBUS-DP como la principal fuente de control de los accionamientos, permitiendo la gestión remota de las funciones de arranque, parada y referencia de velocidad desde el PLC. En las Fig. 3.7 a 3.24 se presentan los parámetros en línea de cada variador de frecuencia, así como la palabra de control y la palabra de estado correspondientes, lo que permite verificar el correcto intercambio de información y la supervisión operativa de los accionamientos a través de la red de comunicación.

Las rampas de aceleración y desaceleración se ajustaron de acuerdo con la dinámica del proceso, observándose transiciones progresivas de velocidad durante las pruebas operativas, sin eventos de disparo por sobrecorriente o sobrecarga.

PRJ01_FC280 - MCT 10 Set-up Software

File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00 7319

Network

- DP-V1
- Ethernet
- Serial
- USB 1
 - 1: FC-280 2.20kW 380-480V
 - All Parameters
 - Alarms
 - Smart Logic
 - Status
 - Drive Control

Project

- M20N102; FC-280 1.50kW 380-480V
- M21N103; FC-280 1.50kW 380-480V
- M30N101; FC-280 1.50kW 380-480V
- M36N105; FC-280 1.50kW 380-480V

| ID | Name | Setup 1 | Setup 2 | Setup 3 | Setup 4 | Unit |
|-----|---------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| 001 | Language | [4] Español | [4] Español | [4] Español | [4] Español | |
| 003 | Regional Settings | [0] International | [0] Internat... | [0] Internat... | [0] Internat... | |
| 004 | Operating State at Power-up | [1] Forced stop, ref=... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | |
| 006 | GridType | [112] 380-440V/60Hz | [112] 380-4... | [112] 380-4... | [112] 380-4... | |
| 007 | Auto DC Braking | [1] On | [1] On | [1] On | [1] On | |
| 010 | Active Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 011 | Programming Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 012 | Link Setups | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | |
| 014 | Readout: Edit Set-ups / Channel | AAAAA1AAhex | AAAAA2AA... | AAAAA3AA... | AAAAA4AA... | |
| 016 | Application Selection | [3] Speed Open Loop | [3] Speed O... | [3] Speed O... | [3] Speed O... | |
| 020 | Display Line 1.1 Small | [1602] Reference [%] | [1602] Refer... | [1602] Refer... | [1602] Refer... | |
| 021 | Display Line 1.2 Small | [1614] Motor current | [1614] Mot... | [1614] Mot... | [1614] Mot... | |
| 022 | Display Line 1.3 Small | [1610] Power [kW] | [1610] Powe... | [1610] Powe... | [1610] Powe... | |
| 023 | Display Line 2 Large | [1613] Frequency | [1613] Freq... | [1613] Freq... | [1613] Freq... | |
| 024 | Display Line 3 Large | [1502] kWh Counter | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | |
| 030 | Custom Readout Unit | [1] % | [1] % | [1] % | [1] % | |
| 031 | Custom Readout Min Value | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 032 | Custom Readout Max Value | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 037 | Display Text 1 | | | | | |
| 038 | Display Text 2 | | | | | |
| 039 | Display Text 3 | | | | | |
| 040 | [Hand on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 042 | [Auto on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 044 | [Off/Reset] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 050 | LCP Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 051 | Set-up Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 060 | Main Menu Password | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | Configuration Mode | [0] Open Loop | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | |
| 101 | Motor Control Principle | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | |
| 103 | Torque Characteristics | [0] Constant torque | [0] Constant... | [0] Constant... | [0] Constant... | |
| 106 | Clockwise Direction | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | |
| 108 | Motor Control Bandwidth | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | |
| 110 | Motor Construction | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | |
| 114 | Damping Gain | 120 | 120 | 120 | 120 | % |
| 115 | Low Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 116 | High Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 117 | Voltage filter time const. | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | s |
| 120 | Motor Power | [11] 3 kW - 4 hp | [11] 3 kW - ... | [11] 3 kW - ... | [11] 3 kW - ... | |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | V |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | Hz |
| 124 | Motor Current | 6.40 | 6.40 | 6.40 | 6.40 | A |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | rpm |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | Nm |

For Help, press F1

Fig. 3.7 Parámetros online VDF Nodo 100.

PRJ01_FC280 - MCT 10 Set-up Software

File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00 7319

Network

- DP-V1
- Ethernet
- Serial
- USB 1
 - 1: FC-280 2.20kW 380-480V
 - All Parameters
 - Alarms
 - Smart Logic
 - Status
 - Drive Control

Project

- M20N102; FC-280 1.50kW 380-480V
- M21N103; FC-280 1.50kW 380-480V
- M30N101; FC-280 1.50kW 380-480V
- M36N105; FC-280 1.50kW 380-480V

| Control Word | Status Word | Digital Input | Digital Output | Relay output | Ext. Status Word |
|----------------------|-------------------------|---------------|----------------|--------------|--|
| Control Word: 47Fhex | Reference [%]: 30.5% | | | | Control Word Profile: PRCFdrive profil |
| Bit 0 | OFF 1 | ON 1 | | | |
| Bit 1 | OFF 2 | ON 2 | | | |
| Bit 2 | OFF 3 | ON 3 | | | |
| Bit 3 | Coasting | No coasting | | | |
| Bit 4 | Quick stop | Ramp | | | |
| Bit 5 | Freeze output frequency | Ramp enable | | | |
| Bit 6 | Ramp stop | Start | | | |
| Bit 7 | No function | Reset | | | |
| Bit 8 | Jog 1 OFF | Jog 1 ON | | | |
| Bit 9 | Jog 2 OFF | Jog 2 ON | | | |
| Bit 1 | Data invalid | Data valid | | | |
| Bit 1 | No function | Slow down | | | |
| Bit 1 | No function | Catch up | | | |
| Bit 1 | No function | Reverse | | | |
| Bit 1 | Parameter set-up | Selection MSB | | | |
| Bit 1 | No function | Reverse | | | |

Fig. 3.8 Control Word online VDF Nodo 100.

PRJ01_FC280 - MCT 10 Set-up Software

File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00 7319

Network

- DP-V1
- Ethernet
- Serial
- USB 1
 - 1: FC-280 2.20kW 380-480V
 - All Parameters
 - Alarms
 - Smart Logic
 - Status
 - Drive Control

Project

- M20N102; FC-280 1.50kW 380-480V
- M21N103; FC-280 1.50kW 380-480V
- M30N101; FC-280 1.50kW 380-480V
- M36N105; FC-280 1.50kW 380-480V

| Control Word | Status Word | Digital Input | Digital Output | Relay output | Ext. Status Word |
|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------|--------------|--|
| Status Word: F37hex | Reference [%]: 30.5% | | | | Control Word Profile: PRCFdrive profil |
| Bit 0 | Control not ready | Control ready | | | |
| Bit 1 | Drive not ready | Drive ready | | | |
| Bit 2 | Coasting | Enable | | | |
| Bit 3 | No error | Trip | | | |
| Bit 4 | OFF 2 | ON 2 | | | |
| Bit 5 | OFF 3 | ON 3 | | | |
| Bit 6 | Start enable | Start disable | | | |
| Bit 7 | No warning | Warning | | | |
| Bit 8 | Speed ≠ reference | Speed=reference | | | |
| Bit 9 | Local operation | Bus control | | | |
| Bit 1 | Out of frequency limit | Frequency limit ok | | | |
| Bit 1 | Not in operation | In operation | | | |
| Bit 1 | Drive OK | Stopped, autostart | | | |
| Bit 1 | Voltage OK | Voltage exceeded | | | |
| Bit 1 | Current/Torque OK | Current/Torque exceeded | | | |
| Bit 1 | Thermal Timer OK | Thermal Timer exceeded | | | |

Fig. 3.9 Status Word online VDF Nodo 100.

PRJ01_FC280 - MCT 10 Set-up Software

File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00 7319

Network

- DP-V1
- Ethernet
- Serial
- USB 1
 - FC-280 1.50kW 380-480V
 - All Parameters
 - Alarms
 - Smart Logic
 - Status
 - Drive Control

Project

- M20N102; FC-280 1.50kW 380-480V
- M21N103; FC-280 1.50kW 380-480V
- M30N101; FC-280 1.50kW 380-480V
- M36N105; FC-280 1.50kW 380-480V

| ID | Name | Setup 1 | Setup 2 | Setup 3 | Setup 4 | Unit |
|-----|---------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| 001 | Language | [4] Espanol | [4] Espanol | [4] Espanol | [4] Espanol | |
| 003 | Regional Settings | [0] International | [0] Internati... | [0] Internati... | [0] Internati... | |
| 004 | Operating State at Power-up | [1] Forced stop, ref=... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | |
| 006 | GridType | [112] 380-440V/60Hz | [112] 380-4... | [112] 380-4... | [112] 380-4... | |
| 007 | Auto DC Braking | [1] On | [1] On | [1] On | [1] On | |
| 010 | Active Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 011 | Programming Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 012 | Link Setups | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | |
| 014 | Readout: Edit Set-ups / Channel | AAAAA1AAHex | AAAAA2AA | AAAAA3AA | AAAAA4AA | |
| 016 | Application Selection | [3] Speed Open Loop | [3] Speed O... | [3] Speed O... | [3] Speed O... | |
| 020 | Display Line 1.1 Small | [1602] Reference [%] | [1602] Refer... | [1602] Refer... | [1602] Refer... | |
| 021 | Display Line 1.2 Small | [1614] Motor current | [1614] Mot... | [1614] Mot... | [1614] Mot... | |
| 022 | Display Line 1.3 Small | [1610] Power [kW] | [1610] Powe... | [1610] Powe... | [1610] Powe... | |
| 023 | Display Line 2 Large | [1613] Frequency | [1613] Freq... | [1613] Freq... | [1613] Freq... | |
| 024 | Display Line 3 Large | [1502] kWh Counter | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | |
| 030 | Custom Readout Unit | [1] % | [1] % | [1] % | [1] % | |
| 031 | Custom Readout Min Value | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 032 | Custom Readout Max Value | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 037 | Display Text 1 | | | | | |
| 038 | Display Text 2 | | | | | |
| 039 | Display Text 3 | | | | | |
| 040 | [Hand on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 042 | [Auto on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 044 | [Off/Reset] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 050 | LCP Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 051 | Set-up Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 060 | Main Menu Password | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | Configuration Mode | [0] Open Loop | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | |
| 101 | Motor Control Principle | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | |
| 103 | Torque Characteristics | [0] Constant torque | [0] Constant... | [0] Constant... | [0] Constant... | |
| 106 | Clockwise Direction | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | |
| 108 | Motor Control Bandwidth | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | |
| 110 | Motor Construction | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | |
| 114 | Damping Gain | 120 | 120 | 120 | 120 | % |
| 115 | Low Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 116 | High Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 117 | Voltage filter time const. | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | s |
| 120 | Motor Power | [9] 1.5 kW - 2 hp | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | V |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | Hz |
| 124 | Motor Current | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | A |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | rpm |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | Nm |

For Help, press F1

Fig. 3.10 Parámetros online VDF Nodo 101.

PRJ01_FC280 - MCT 10 Set-up Software

File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00 7319

Network

- DP-V1
- Ethernet
- Serial
- USB 1
 - FC-280 1.50kW 380-480V
 - All Parameters
 - Alarms
 - Smart Logic
 - Status
 - Drive Control

Project

- M20N102; FC-280 1.50kW 380-480V
- M21N103; FC-280 1.50kW 380-480V
- M30N101; FC-280 1.50kW 380-480V
- M36N105; FC-280 1.50kW 380-480V

Control Word: 47Hex Reference [%]: 18.3% Control Word Profile: PRCFidrive profil

| Control Word | Status Word | Digital Input | Digital Output | Relay output | Ext. Status Word |
|--------------|-------------------------|---------------|----------------|--------------|------------------|
| BR 0 | OFF 1 | | DR 1 | | |
| BR 1 | OFF 2 | | DR 2 | | |
| BR 2 | OFF 3 | | DR 3 | | |
| BR 3 | Coasting | | No coasting | | |
| BR 4 | Quick stop | | Ramp | | |
| BR 5 | Freeze output frequency | | Temp enable | | |
| BR 6 | Ramp stop | | Start | | |
| BR 7 | No function | | Reset | | |
| BR 8 | Jog 1 OFF | | Jog 1 ON | | |
| BR 9 | Jog 2 OFF | | Jog 2 ON | | |
| BR 1 | Data invalid | | DR 4 | | |
| BR 1 | No function | | Slow down | | |
| BR 1 | No function | | Catch up | | |
| BR 1 | No function | | Reverse | | |
| BR 1 | Parameter set-up | | Selection MSB | | |
| BR 1 | No function | | Reverse | | |

Fig. 3.11 Control Word online VDF Nodo 101.

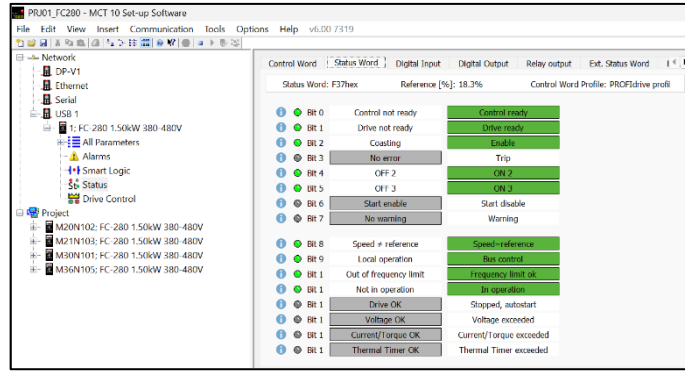


Fig. 3.12 Status Word online VDF Nodo 101.

| ID | Name | Setup 1 | Setup 2 | Setup 3 | Setup 4 | Unit |
|-----|---------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| 001 | Language | [4] Español | [4] Español | [4] Español | [4] Español | |
| 003 | Regional Settings | [0] International | [0] Internati... | [0] Internati... | [0] Internati... | |
| 004 | Operating State at Power-up | [1] Forced stop, ref=... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | |
| 006 | GridType | [112] 380-440V/60Hz | [112] 380-4... | [112] 380-4... | [112] 380-4... | |
| 007 | Auto DC Braking | [1] On | [1] On | [1] On | [1] On | |
| 010 | Active Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 011 | Programming Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 012 | Link Setups | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | |
| 014 | Readout: Edit Set-ups / Channel | AAAAA1Aahex | AAAAA2AA... | AAAAA3AA... | AAAAA4AA... | |
| 016 | Application Selection | [3] Speed Open Loop | [3] Speed O... | [3] Speed O... | [3] Speed O... | |
| 020 | Display Line 1.1 Small | [1602] Reference [%] | [1602] Refer... | [1602] Refer... | [1602] Refer... | |
| 021 | Display Line 1.2 Small | [1614] Motor current | [1614] Mot... | [1614] Mot... | [1614] Mot... | |
| 022 | Display Line 1.3 Small | [1610] Power [kW] | [1610] Powe... | [1610] Powe... | [1610] Powe... | |
| 023 | Display Line 2 Large | [1613] Frequency | [1613] Freq... | [1613] Freq... | [1613] Freq... | |
| 024 | Display Line 3 Large | [1502] kWh Counter | [1502] kWh... | [1502] kWh... | [1502] kWh... | |
| 030 | Custom Readout Unit | [1] % | [1] % | [1] % | [1] % | |
| 031 | Custom Readout Min Value | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 032 | Custom Readout Max Value | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 037 | Display Text 1 | | | | | |
| 038 | Display Text 2 | | | | | |
| 039 | Display Text 3 | | | | | |
| 040 | [Hand on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 042 | [Auto on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 044 | [Off/Reset] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 050 | LCP Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 051 | Set-up Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 060 | Main Menu Password | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | Configuration Mode | [0] Open Loop | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | |
| 101 | Motor Control Principle | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | |
| 103 | Torque Characteristics | [0] Constant torque | [0] Constant... | [0] Constant... | [0] Constant... | |
| 106 | Clockwise Direction | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | |
| 108 | Motor Control Bandwidth | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | |
| 110 | Motor Construction | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | |
| 114 | Damping Gain | 120 | 120 | 120 | 120 | % |
| 115 | Low Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 116 | High Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 117 | Voltage filter time const. | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | s |
| 120 | Motor Power | [9] 1.5 kW - 2 hp | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | V |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | Hz |
| 124 | Motor Current | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | A |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | rpm |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | Nm |

Fig. 3.13 Parámetros online VDF Nodo 102.

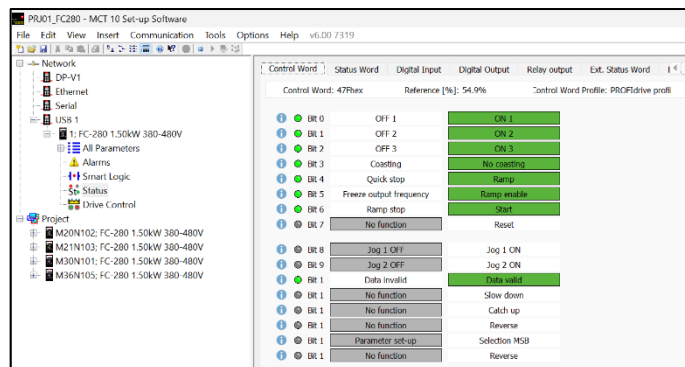


Fig. 3.14 Control Word online VDF Nodo 102.

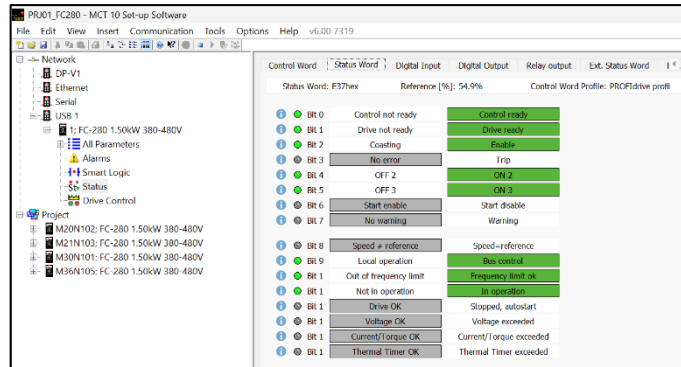


Fig. 3.15 Status Word online VDF Nodo 102.

| ID | Name | Setup 1 | Setup 2 | Setup 3 | Setup 4 | Unit |
|-----|---------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| 001 | Language | [4] Espanol | [4] Espanol | [4] Espanol | [4] Espanol | |
| 003 | Regional Settings | [0] International | [0] Internati... | [0] Internati... | [0] Internati... | |
| 004 | Operating State at Power-up | [1] Forced stop, refer... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | |
| 006 | GridType | [112] 380-440V/60Hz | [112] 380-4... | [112] 380-4... | [112] 380-4... | |
| 007 | Auto DC Braking | [1] On | [1] On | [1] On | [1] On | |
| 010 | Active Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 011 | Programming Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 012 | Link Setups | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | |
| 014 | Readout: Edit Set-ups / Channel | AAAAA1AHex | AAAAA2AA | AAAAA3AA | AAAAA4AA | |
| 016 | Application Selection | [3] Speed Open Loop | [3] Speed O... | [3] Speed O... | [3] Speed O... | |
| 020 | Display Line 1.1 Small | [1602] Reference [%] | [1602] Refer... | [1602] Refer... | [1602] Refer... | |
| 021 | Display Line 1.2 Small | [1614] Motor current | [1614] Mot... | [1614] Mot... | [1614] Mot... | |
| 022 | Display Line 1.3 Small | [1610] Power [kW] | [1610] Powe... | [1610] Powe... | [1610] Powe... | |
| 023 | Display Line 2 Large | [1613] Frequency | [1613] Freq... | [1613] Freq... | [1613] Freq... | |
| 024 | Display Line 3 Large | [1502] kWh Counter | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | |
| 030 | Custom Readout Unit | [1] % | [1] % | [1] % | [1] % | |
| 031 | Custom Readout Min Value | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 032 | Custom Readout Max Value | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 037 | Display Text 1 | | | | | |
| 038 | Display Text 2 | | | | | |
| 039 | Display Text 3 | | | | | |
| 040 | [Hand on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 042 | [Auto on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 044 | [Off/Reset] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 050 | LCP Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 051 | Set-up Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 060 | Main Menu Password | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | Configuration Mode | [0] Open Loop | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | |
| 101 | Motor Control Principle | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | |
| 103 | Torque Characteristics | [0] Constant torque | [0] Constant... | [0] Constant... | [0] Constant... | |
| 106 | Clockwise Direction | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | |
| 108 | Motor Control Bandwidth | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | |
| 110 | Motor Construction | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | |
| 114 | Damping Gain | 120 | 120 | 120 | 120 | % |
| 115 | Low Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 116 | High Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 117 | Voltage filter time const. | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | s |
| 120 | Motor Power | [9] 1.5 kW - 2 hp | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | V |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | Hz |
| 124 | Motor Current | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | A |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | rpm |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | Nm |

Fig. 3.16 Parámetros online VDF Nodo 103.

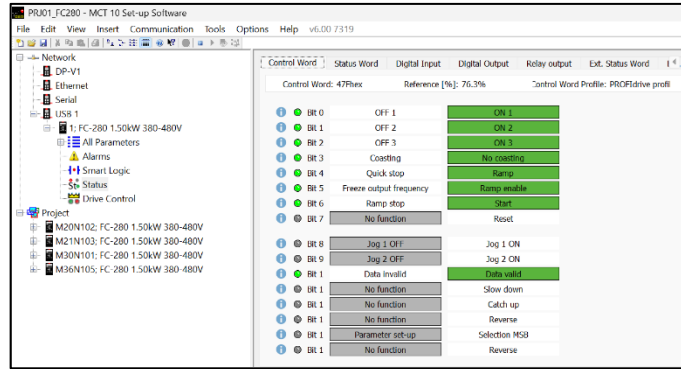


Fig. 3.17 Control Word online VDF Nodo 103.

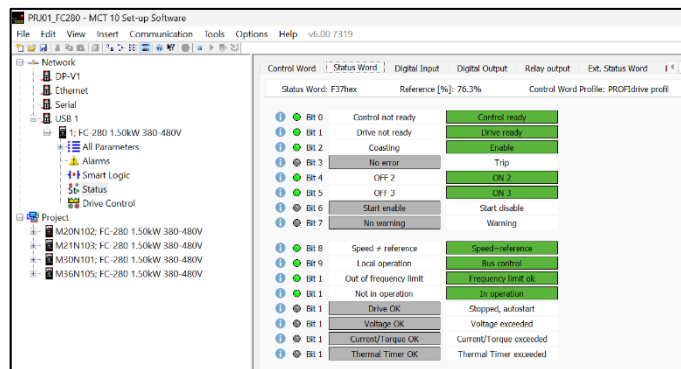


Fig. 3.18 Status Word online VDF Nodo 103.

| ID | Name | Setup 1 | Setup 2 | Setup 3 | Setup 4 | Unit |
|-----|---------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| 001 | Language | [4] Español | [4] Español | [4] Español | [4] Español | |
| 003 | Regional Settings | [0] International | [0] Internati... | [0] Internati... | [0] Internati... | |
| 004 | Operating State at Power-up | [1] Forced stop, ref=... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | |
| 006 | GridType | [112] 380-440V/60Hz | [112] 380-4... | [112] 380-4... | [112] 380-4... | |
| 007 | Auto DC Braking | [1] On | [1] On | [1] On | [1] On | |
| 010 | Active Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 011 | Programming Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 012 | Link Setups | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | |
| 014 | Readout: Edit Set-ups / Channel | AAAA1AAHex | AAAA2AA... | AAAA3AA... | AAAA4AA... | |
| 016 | Application Selection | [3] Speed Open Loop | [3] Speed O... | [3] Speed O... | [3] Speed O... | |
| 020 | Display Line 1.1 Small | [1602] Reference [%] | [1602] Refer... | [1602] Refer... | [1602] Refer... | |
| 021 | Display Line 1.2 Small | [1614] Motor current | [1614] Mot... | [1614] Mot... | [1614] Mot... | |
| 022 | Display Line 1.3 Small | [1610] Power [kW] | [1610] Powe... | [1610] Powe... | [1610] Powe... | |
| 023 | Display Line 2 Large | [1613] Frequency | [1613] Freq... | [1613] Freq... | [1613] Freq... | |
| 024 | Display Line 3 Large | [1502] kWh Counter | [1502] kWh... | [1502] kWh... | [1502] kWh... | |
| 030 | Custom Readout Unit | [1] % | [1] % | [1] % | [1] % | |
| 031 | Custom Readout Min Value | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 032 | Custom Readout Max Value | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 037 | Display Text 1 | | | | | |
| 038 | Display Text 2 | | | | | |
| 039 | Display Text 3 | | | | | |
| 040 | [Hand on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 042 | [Auto on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 044 | [Off/Reset] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 050 | LCP Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 051 | Set-up Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 060 | Main Menu Password | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | Configuration Mode | [0] Open Loop | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | |
| 101 | Motor Control Principle | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | |
| 103 | Torque Characteristics | [0] Constant torque | [0] Constant... | [0] Constant... | [0] Constant... | |
| 106 | Clockwise Direction | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | |
| 108 | Motor Control Bandwidth | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | |
| 110 | Motor Construction | [0] Asynchronous | [0] Asynchron | [0] Asynchron | [0] Asynchron | |
| 114 | Damping Gain | 120 | 120 | 120 | 120 | % |
| 115 | Low Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 116 | High Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 117 | Voltage filter time const. | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | s |
| 120 | Motor Power | [9] 1.5 kW - 2 hp | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | V |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | Hz |
| 124 | Motor Current | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | A |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | rpm |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | Nm |

Fig. 3.19 Parámetros online VDF Nodo 104.

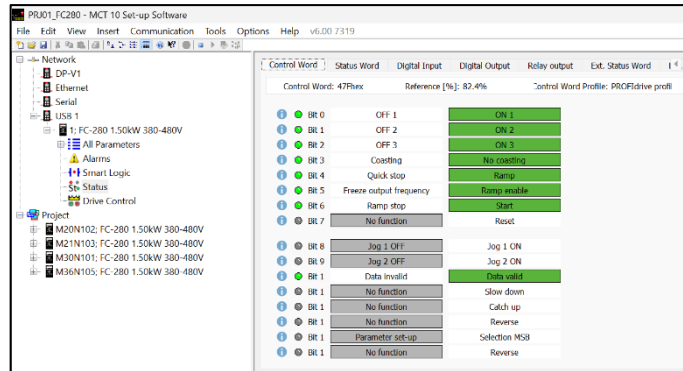


Fig. 3.20 Control Word online VDF Nodo 104.

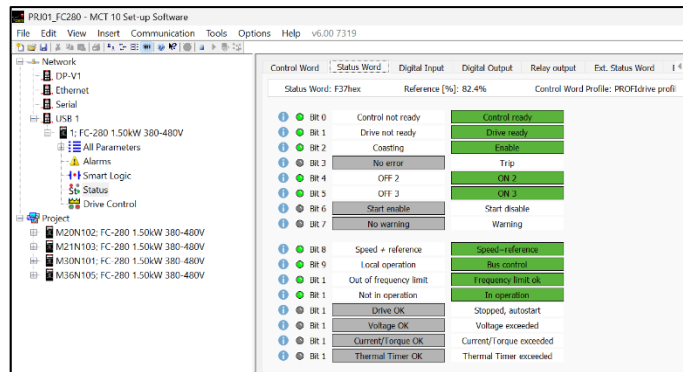


Fig. 3.21 Status Word online VDF Nodo 104.

PR01_FC280 - MCT 10 Set-up Software
File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00.7319

Network
DP-V1
Ethernet
Serial
USB 1
1: FC-280 1.50KW 380-480V
Parameters
0: Operation / Display
1: Load and Motor
2: Brakes
3: Reference / Ramps
4: Limits / Warnings
5: Digital In/Out
6: Analog In/Out
7: Controllers
8: Comm. and Options
9: PROFIdrive
13: Smart Logic
14: Special Functions
15: Drive Information
16: Data Readouts
18: Data Readouts 2
21: Est. Closed Loop
22: Appl. Functions
28: Compressor Functions
30: Special Features
31: Special Option
32: Motion Control Basic Settings
33: Motion Control Adv. Settings
34: Motion Control Data Readouts
37: Application Settings
Alarms
Smart Logic
Status
Drive Control

Project
M20N102: FC-280 1.50KW 380-480V
M21N103: FC-280 1.50KW 380-480V
M30N101: FC-280 1.50KW 380-480V
M36N105: FC-280 1.50KW 380-480V

| ID | Name | Setup 1 | Setup 2 | Setup 3 | Setup 4 | Unit |
|-----|---------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| 001 | Language | [4] Espanol | [4] Espanol | [4] Espanol | [4] Espanol | |
| 003 | Regional Settings | [0] International | [0] Internati... | [0] Internati... | [0] Internati... | |
| 004 | Operating State at Power-up | [1] Forced stop, ref=0... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | [1] Forced s... | |
| 006 | GridType | [112] 380-440V/60Hz | [112] 380-4... | [112] 380-4... | [112] 380-4... | |
| 007 | Auto DC Braking | [1] On | [1] On | [1] On | [1] On | |
| 010 | Active Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 011 | Programming Set-up | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | [1] Set-up 1 | |
| 012 | Link Setups | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | [20] Linked | |
| 014 | Readout: Edit Set-ups / Channel | AAAAA1AAhex | AAAAA2AA... | AAAAA3AA... | AAAAA4AA... | |
| 016 | Application Selection | [3] Speed Open Loop | [3] Speed O... | [3] Speed O... | [3] Speed O... | |
| 020 | Display Line 1.1 Small | [1602] Reference [%] | [1602] Refer... | [1602] Refer... | [1602] Refer... | |
| 021 | Display Line 1.2 Small | [1614] Motor current | [1614] Mot... | [1614] Mot... | [1614] Mot... | |
| 022 | Display Line 1.3 Small | [1610] Power [kW] | [1610] Powe... | [1610] Powe... | [1610] Powe... | |
| 023 | Display Line 2 Large | [1613] Frequency | [1613] Freq... | [1613] Freq... | [1613] Freq... | |
| 024 | Display Line 3 Large | [1502] kWh Counter | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | [1502] kWh ... | |
| 030 | Custom Readout Unit | [1] % | [1] % | [1] % | [1] % | |
| 031 | Custom Readout Min Value | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 032 | Custom Readout Max Value | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 037 | Display Text 1 | | | | | |
| 038 | Display Text 2 | | | | | |
| 039 | Display Text 3 | | | | | |
| 040 | [Hand on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 042 | [Auto on] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 044 | [Off/Reset] Key on LCP | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | [1] Enabled | |
| 050 | LCP Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 051 | Set-up Copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | [0] No copy | |
| 060 | Main Menu Password | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | Configuration Mode | [0] Open Loop | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | [0] Open Lo... | |
| 101 | Motor Control Principle | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | [1] VVC+ | |
| 103 | Torque Characteristics | [0] Constant torque | [0] Constant... | [0] Constant... | [0] Constant... | |
| 106 | Clockwise Direction | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | [0] Normal | |
| 108 | Motor Control Bandwidth | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | [1] Medium | |
| 110 | Motor Construction | [0] Asynchronous | [0] Asynchron... | [0] Asynchron... | [0] Asynchron... | |
| 114 | Damping Gain | 120 | 120 | 120 | 120 | % |
| 115 | Low Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 116 | High Speed Filter Time Const. | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | s |
| 117 | Voltage filter time const. | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | s |
| 120 | Motor Power | [9] 1.5 kW - 2 hp | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | [9] 1.5 kW - ... | |
| 122 | Motor Voltage | 460 | 460 | 460 | 460 | V |
| 123 | Motor Frequency | 60 | 60 | 60 | 60 | Hz |
| 124 | Motor Current | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | A |
| 125 | Motor Nominal Speed | 1740 | 1740 | 1740 | 1740 | rpm |
| 126 | Motor Cont. Rated Torque | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 9.3 | Nm |

For Help, press F1

Fig. 3.22 Parámetros online VDF Nodo 105.

PR01_FC280 - MCT 10 Set-up Software
File Edit View Insert Communication Tools Options Help v6.00.7319

Network
DP-V1
Ethernet
Serial
USB 1
1: FC-280 1.50KW 380-480V
Parameters
Alarms
Smart Logic
Status
Drive Control

Project
M20N102: FC-280 1.50KW 380-480V
M21N103: FC-280 1.50KW 380-480V
M30N101: FC-280 1.50KW 380-480V
M36N105: FC-280 1.50KW 380-480V

Control Word: 477hex Reference [%]: 18.2% Control Word Profile: PROFIdrive profil

| Bit | Status Word | Digital Input | Digital Output | Relay output | Ext. Status Word |
|-------|-------------------------|---------------|----------------|--------------|------------------|
| Bit 0 | OFF 1 | | ON 1 | | |
| Bit 1 | OFF 2 | | ON 2 | | |
| Bit 2 | OFF 3 | | ON 3 | | |
| Bit 3 | Coasting | | No coasting | | |
| Bit 4 | Quick stop | | Ramp | | |
| Bit 5 | Freeze output frequency | | Ramp enable | | |
| Bit 6 | Ramp stop | | Start | | |
| Bit 7 | No function | | Reset | | |
| Bit 8 | Jog 1 OFF | | Jog 1 ON | | |
| Bit 9 | Jog 2 OFF | | Jog 2 ON | | |
| Bit 1 | Data invalid | | Data valid | | |
| Bit 1 | No function | | Slow down | | |
| Bit 1 | No function | | Catch up | | |
| Bit 1 | No function | | Reverse | | |
| Bit 1 | Parameter set-up | | Selection MSB | | |
| Bit 1 | No function | | Reverse | | |

Fig. 3.23 Control Word online VDF Nodo 105.

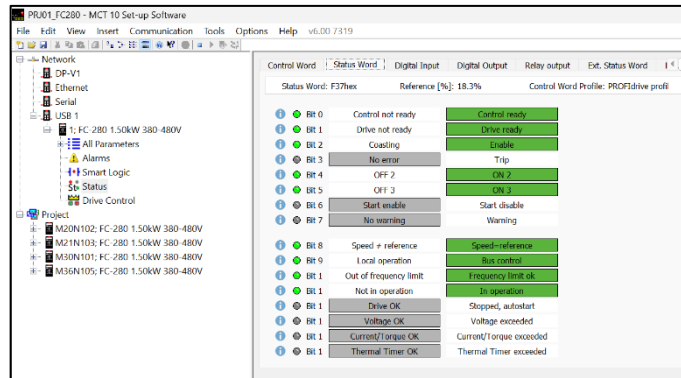


Fig. 3.24 Status Word online VDF Nodo 105.

3.1.4 Resultados de la adaptación de la programación del PLC

La adaptación de la programación del PLC permitió integrar los variadores Danfoss FC-280, manteniendo la estructura y la lógica de control previamente implementadas en el sistema de paletizado. Para ello, se incorporaron las variables necesarias para el envío de comandos y referencias de velocidad.

Durante la ejecución del programa se observó que las rutinas arranque y parada se ejecutaron sin modificar la secuencia original del proceso. Las rampas de aceleración y desaceleración configuradas en los variadores siguieron los valores definidos desde el PLC, así como aquellos ajustados por el operador a través del HMI. Esta programación se muestra en las Fig. 3.25 a Fig. 3.29.

Asimismo, se verificó el funcionamiento de la lógica de habilitación general del sistema, la cual condiciona la activación de los motores a una señal de entrada digital, permitiendo controlar la puesta en marcha del proceso.

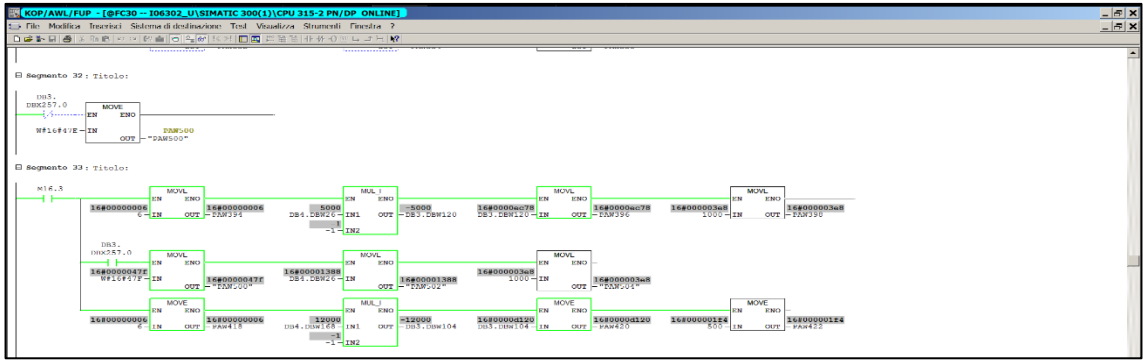


Fig. 3.25 Programación online Nodo 100.

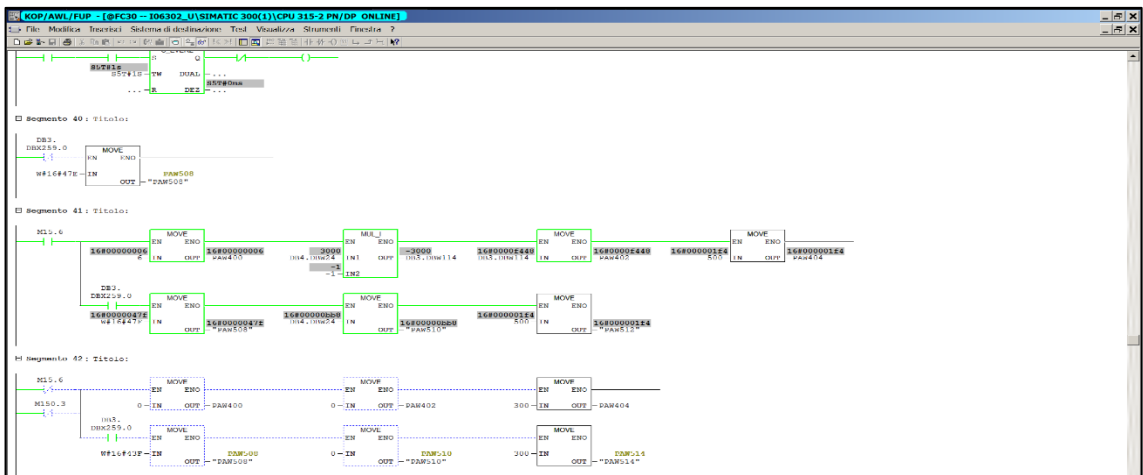


Fig. 3.26 Programación online Nodo 101.

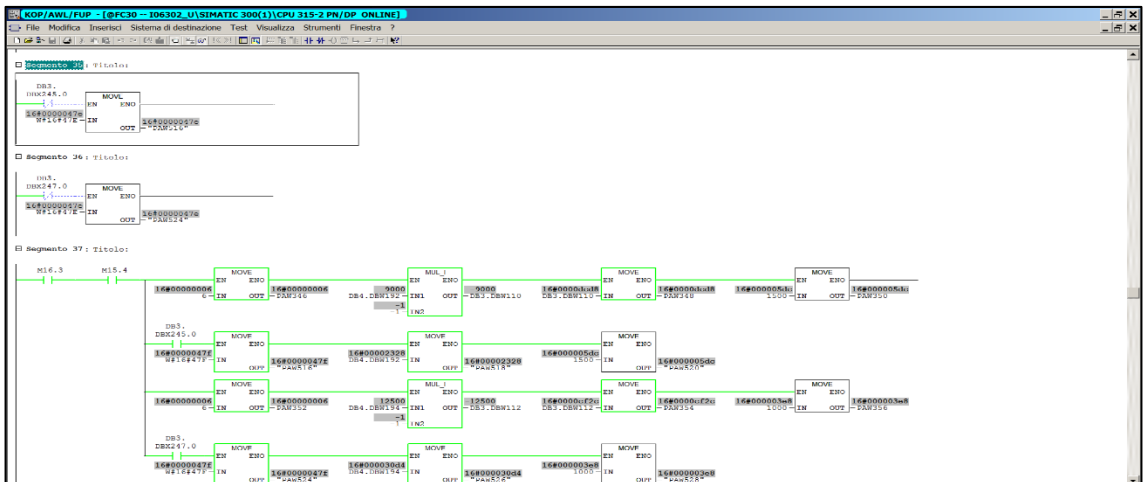


Fig. 3.27 Programación online Nodo 102 y 103.

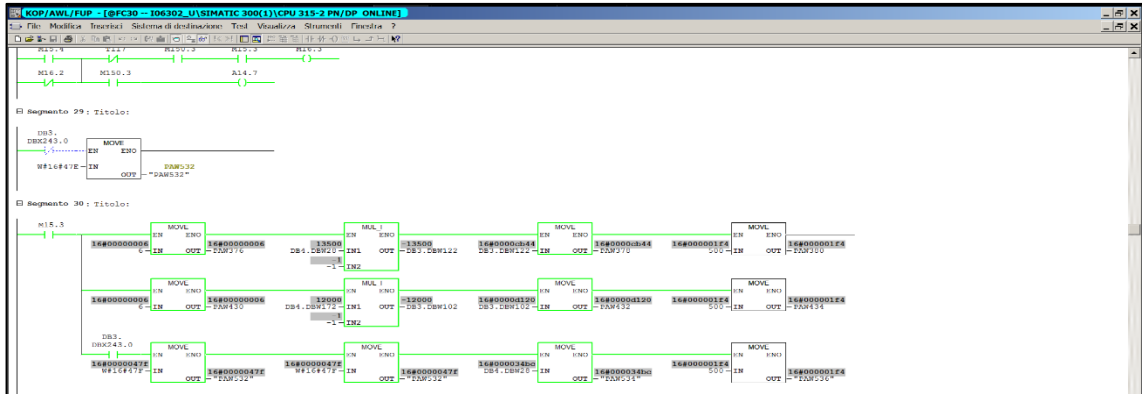


Fig. 3.28 Programación online Nodo 104.

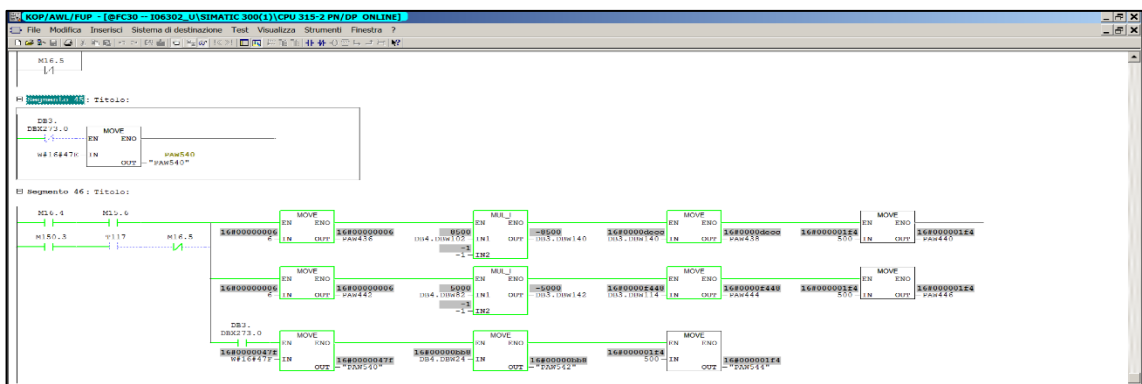


Fig. 3.29 Programación online Nodo 105.

3.1.5 Resultados de las pruebas operativas del sistema

Las pruebas operativas realizadas correspondieron específicamente a pruebas de operación simultánea de los accionamientos, en las cuales se evaluó el comportamiento global del proceso de paletizado con los seis nodos habilitados a nivel de control. Dichas pruebas se ejecutaron tanto en modo manual como en modo automático, y su desarrollo se documenta en el Anexo 1.

Durante estas pruebas de operación simultánea se verificó la ejecución coordinada de los motores ante variaciones en la referencia de velocidad y cambios de modo de operación, manteniéndose en todo momento la secuencia establecida por la lógica de control implementada en el PLC. Los incrementos y decrementos de velocidad se realizaron de manera progresiva, conforme a las rampas de aceleración y desaceleración configuradas en los variadores de frecuencia y modificables por el operador desde el HMI, sin generar perturbaciones en la

operación conjunta ni inconsistencias en el control cuando los accionamientos operaron de forma concurrente.

Asimismo, durante las pruebas continuas de operación simultánea no se presentaron eventos que interrumpieran el funcionamiento del sistema, manteniéndose estable el intercambio de señales entre el PLC, los variadores de frecuencia y la interfaz HMI, y verificándose el comportamiento esperado bajo condiciones normales de operación.

Por limitaciones de tiempo establecidas por el cliente, se realizó únicamente el montaje de dos motores, correspondientes a los nodos 101 y 105, como se observa en las Figuras 3.30 y 3.31. No obstante, dado que la arquitectura de control y la parametrización de los accionamientos es homogénea, el comportamiento observado resulta representativo del desempeño esperado para el conjunto del sistema. El funcionamiento de estos accionamientos durante las pruebas se documenta en el Anexo 1.



Fig. 3.30 Motor nodo 101

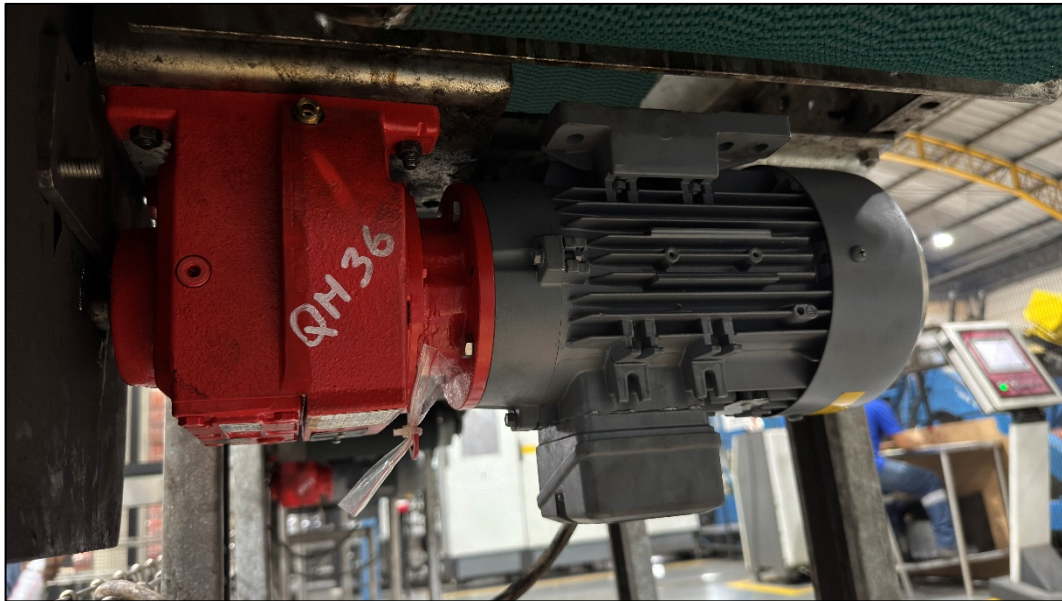


Fig. 3.31 Motor nodo 105

3.1.6 Análisis de costos del proyecto

El análisis de costos del proyecto se estructuró en tres categorías principales de inversión: equipos de potencia, mano de obra especializada e infraestructura asociada al tablero de control. La Tabla 3.1 presenta la distribución del costo total del proyecto en valores absolutos y porcentuales.

Los equipos de potencia representan el 42,43 % del costo total del proyecto. Este rubro comprende el suministro de seis variadores de frecuencia Danfoss VLT® Midi Drive FC 280 (cinco de 1,5 kW y uno de 2,2 kW), así como los paneles de operación LCP utilizados para la configuración local y supervisión de los accionamientos.

La mano de obra especializada constituye el 28,48 % del presupuesto, e incluye los servicios profesionales de configuración, parametrización, integración de los variadores a la red de comunicación y adecuaciones en la programación del sistema de control, necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del proceso automatizado.

La infraestructura y el tablero de control concentran el 29,10 % restante del costo total, e incluyen el gabinete metálico autosoportado (2000 × 1500 × 600 mm), el sistema de ventilación forzada, las protecciones eléctricas, el cableado de

comunicación PROFIBUS y los materiales de montaje empleados en el ensamblaje del tablero.

La distribución porcentual obtenida evidencia que, si bien los equipos de potencia representan el mayor componente individual del costo, la infraestructura y la mano de obra especializada tienen una participación significativa en la inversión total, reflejando que la implementación del sistema no depende únicamente del equipamiento, sino también del soporte técnico y constructivo necesario para su correcta operación.

Tabla 3.1 Distribución de costos del proyecto.

| Categoría de Inversión | Descripción General | Valor Total | % del Proyecto |
|--------------------------------------|--|--------------------|-----------------------|
| Equipos de potencia | Incluye 6 variadores VLT® Midi Drive FC 280 (1 de 2.2kW y 5 de 1.5kW) y paneles LCP. | \$5.730 | 42,43% |
| Mano de obra | Servicios especializados de configuración e integración de los variadores a la red y en la programación. | \$3.846 | 28,48% |
| Infraestructura y tablero de Control | Incluye tablero autosoportado (2000x1500x600mm), sistema de ventilación forzada, protecciones, cableado Profibus y materiales de montaje (rieles, borneras). | \$3.930 | 29,10% |
| TOTAL | Implementación completa del sistema | \$13.506 | 100% |

3.1.7 Rentabilidad de solución

La rentabilidad de la solución implementada se analiza a partir de la comparación directa entre la arquitectura de accionamientos integrados MOVIMOT y la alternativa basada en variadores de frecuencia DANFOSS y motorreductores independientes, considerando tres ejes fundamentales: ejecución del servicio de mantenimiento, adquisición y reemplazo de equipos, y capacidad de producción del sistema.

En el esquema original con accionamientos MOVIMOT, la ejecución de servicios de mantenimiento presenta limitaciones significativas. Tal como se muestra en la Tabla 3.2 correspondiente a ejecución de servicios, el tiempo de respuesta ante una solicitud de mantenimiento preventivo puede alcanzar hasta 120 días, debido a la necesidad de coordinación con personal especializado del fabricante y a la disponibilidad limitada de estos servicios. El tiempo mínimo de intervención es de al menos 3 días, con un costo aproximado de USD 9.300 por evento. En escenarios de mantenimiento correctivo, estos valores se incrementan considerablemente, tanto en tiempo como en costo, ya que ante una falla electrónica suele ser necesario el reemplazo completo del accionamiento integrado.

Debido a este elevado costo y a los extensos tiempos de anticipación requeridos para reservar servicios especializados, en la práctica operativa no se realizaban mantenimientos de forma recurrente. En su lugar, la empresa optaba por mantener un stock permanente de unidades MOVIMOT como estrategia de contingencia. Este enfoque, si bien reduce el tiempo de recuperación ante fallas, genera un gasto recurrente no planificado asociado a la adquisición de equipos de reemplazo, además de enfrentar tiempos de entrega que pueden superar los 60 días según la Tabla 3.3, convirtiendo al inventario de accionamientos MOVIMOT en un costo constante.

En contraste, la solución basada en variadores de frecuencia DANFOSS y motorreductores independientes presenta una mejora sustancial en términos de mantenibilidad y flexibilidad operativa. El tiempo de respuesta para mantenimiento preventivo se reduce a aproximadamente 2 días, con un tiempo de intervención de 1 día y un costo estimado de USD 1.000 por servicio, como se detalla en la misma tabla

Adicionalmente, este tipo de mantenimiento puede ser ejecutado por personal técnico local de la propia empresa o por proveedores externos, eliminando la dependencia de servicios especializados del fabricante y reduciendo significativamente los tiempos de indisponibilidad del sistema.

Desde el punto de vista de adquisición y reemplazo de equipos, la arquitectura centralizada ofrece ventajas claras. Mientras que un accionamiento MOVIMOT presenta tiempos de adquisición superiores a 60 días y un costo unitario aproximado de USD 2.500, la solución propuesta permite adquirir variadores y motorreductores por separado, con tiempos de entrega menores (30 días para el variador y 15 días para el motorreductor) y con la posibilidad de reemplazar únicamente el componente afectado. Aunque el costo combinado de variador y motorreductor asciende a aproximadamente USD 2.650, esta inversión se traduce en una reducción significativa de los costos asociados a inventarios de repuestos completos y a paradas prolongadas del sistema

Finalmente, el impacto en la capacidad de producción se observa en la Tabla 3.4 evidenciando de forma directa la rentabilidad de la solución. Con accionamientos MOVIMOT, el sistema opera a velocidad límite y únicamente permite el procesamiento de pacas de productos de 600 ml. En cambio, con la implementación de variadores de frecuencia y motorreductores independientes, la velocidad máxima de operación se incrementa hasta en un 250%, habilitando no solo una mayor capacidad de procesamiento de pacas de 600 ml, sino también la operación estable con productos de 1200 ml, ampliando la versatilidad del sistema productivo.

Tabla 3.2 Ejecución de servicios.

| EQUIPO | TIEMPO DE RESPUESTA (días) | TIEMPO DE MANTENIMIENTO (días) | COSTO |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------|
| MOVIMOT | 120 | ≥ 3 | ≥ 9300 |
| VARIADOR + MOTOREDUCTOR | 2 | ≥ 1 | ≥ 1000 |

Tabla 3.3 Adquisición de equipos.

| EQUIPO | TIEMPO DE ADQUISICIÓN (días) | TIEMPO DE INSTALACIÓN (horas) | COSTO | COSTO TOTAL |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------|-------------|
| MOVIMOT | ≥60 | 4 | 2500 | 2500 |
| VARIADOR | ≥30 | 1 | 1150 | 2650 |
| MOTOREDUCTOR | ≥15 | 2 | 1500 | |

Tabla 3.4 Capacidad de producción.

| | |
|--------------------------------|---|
| MOVIMOT | Velocidad al límite. |
| | Capacidad de trabajo con productos de 600 ml |
| VARIADOR + REDUCTOR | Velocidad al límite incrementa en un 250% |
| | Capacidad de trabajo con productos de 600 ml |
| | Capacidad de trabajo con productos de 1200 ml |

En conjunto, el análisis demuestra que la solución propuesta reduce de manera significativa los costos de mantenimiento, elimina la necesidad de mantener inventarios elevados de accionamientos completos, disminuye los tiempos de indisponibilidad del sistema y aumenta la capacidad y flexibilidad productiva de la línea de paletizado. Por tanto, la inversión realizada se justifica plenamente desde el punto de vista técnico y económico, evidenciando de forma clara la rentabilidad de la arquitectura basada en variadores de frecuencia DANFOSS y motorreductores independientes.

CAPÍTULO 4

4.1 CONCLUSIONES

El presente proyecto permitió demostrar que la migración de un sistema de accionamientos descentralizados MOVIMOT hacia una arquitectura centralizada basada en variadores de frecuencia Danfoss VLT FC 280, integrados a un PLC Siemens S7-300 mediante PROFIBUS-DP, constituye una solución técnica viable y ventajosa para procesos industriales de paletizado continuo.

Se logró implementar exitosamente la migración de seis accionamientos MOVIMOT hacia seis variadores de frecuencia independientes, mediante el diseño e implementación de un nuevo tablero de control, así como la adaptación del sistema de control existente. Los resultados obtenidos evidencian una integración funcional y estable entre los variadores Danfoss y el PLC S7-300, manteniendo la continuidad operativa del proceso sin afectar la lógica secuencial original del sistema de paletizado.

El diseño del tablero de control centralizado permitió concentrar la electrónica de potencia en un entorno controlado, reduciendo la exposición de los variadores a vibraciones mecánicas y estrés térmico, condiciones previamente presentes en los accionamientos integrados MOVIMOT. Esta decisión de diseño incrementa la confiabilidad del sistema y facilita las labores de mantenimiento correctivo y preventivo.

La configuración de la red PROFIBUS-DP y la correcta selección del PPO Type para los variadores Danfoss garantizaron un intercambio de datos cíclico, consistente y determinista entre el PLC y los dispositivos de campo. Los resultados mostraron que la correcta asignación de palabras de control, palabras de estado y referencias de velocidad permitió replicar el comportamiento funcional de los MOVIMOT, validando que la migración no introdujo ambigüedades en el control ni pérdida de información crítica de diagnóstico.

La adaptación del programa del PLC S7-300 se realizó de forma estructurada mediante el mapeo exhaustivo de variables y el uso de referencias cruzadas, lo que permitió identificar con precisión los puntos de intervención en la lógica existente. Este enfoque redujo el riesgo de errores de programación y demostró que la migración de accionamientos puede ejecutarse sin necesidad de rediseñar completamente el sistema de control, siempre que exista una metodología rigurosa de análisis previo.

Las pruebas funcionales confirmaron que los variadores Danfoss FC 280 respondieron adecuadamente a las órdenes de arranque, parada y referencia de velocidad, manteniendo tiempos de aceleración y desaceleración coherentes con los requerimientos del proceso de paletizado. Esto valida que la solución propuesta cumple con los criterios de desempeño dinámico exigidos en aplicaciones de transporte industrial.

El análisis de costos y la evaluación de rentabilidad evidenciaron que, aunque la inversión inicial del sistema centralizado puede ser comparable o ligeramente superior a la solución con accionamientos integrados, los beneficios a mediano y largo plazo son significativos. La reducción de tiempos de parada, la facilidad de reemplazo de componentes individuales y la disponibilidad local de repuestos contribuyen a disminuir los costos operativos y a mejorar la disponibilidad del sistema productivo.

No obstante, el proyecto también evidenció ciertas limitaciones. La arquitectura centralizada incrementa la cantidad de cableado de potencia hacia los motores y requiere una adecuada gestión térmica dentro del tablero, lo que demanda un diseño cuidadoso de ventilación y protecciones. Además, la dependencia de un PLC S7-300, cuya discontinuación ha sido anunciada por el fabricante, plantea un escenario futuro en el que será necesario evaluar una migración adicional hacia plataformas de control más actuales.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la solución propuesta no solo resuelve las limitaciones técnicas de los accionamientos MOVIMOT, sino que establece una base más robusta, flexible y mantenible para el proceso de

paletizado, alineándose con las buenas prácticas de automatización industrial y con los objetivos estratégicos de confiabilidad y eficiencia operativa.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar, en una fase posterior, la migración del controlador Siemens S7-300 hacia una plataforma de control más reciente, como la familia S7-1500, con el fin de garantizar la disponibilidad de soporte técnico a largo plazo, mejorar las capacidades de diagnóstico y aprovechar funciones avanzadas de seguridad y comunicación industrial.

Es aconsejable implementar un sistema de monitoreo de variables eléctricas y térmicas de los variadores de frecuencia, utilizando las capacidades de diagnóstico disponibles en los FC 280. Esto permitiría anticipar fallas, optimizar planes de mantenimiento predictivo y mejorar la disponibilidad global del sistema.

Para estudios futuros, se recomienda realizar un análisis comparativo del consumo energético entre la solución con accionamientos integrados MOVIMOT y la arquitectura centralizada con variadores independientes, considerando distintos regímenes de carga y operación. Este análisis permitiría cuantificar con mayor precisión los beneficios energéticos de la migración.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Instrucciones de funcionamiento – Accionamientos MOVIMOT® MM..D antiexplosivos de la categoría 3D*, 1st ed., SEW-EURODRIVE, Bruchsal, Alemania, 2011, pp. 1–14.
2. T. M. Jahns and H. Dai, “The past, present, and future of power electronics integration technology in motor drives,” *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, Sep. 2017. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8118375>
3. R. Abebe, G. Vakil, G. Lo Calzo, T. Cox, C. Gerada, and M. Johnson. (2015). FEA based thermal analysis of various topologies for integrated motor drives (IMD). Presented at IEEE IECON 2015, Yokohama, Japan. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7392390>
4. J. R. Westcott, A. K. Gupta, and S. K. Arora, “Automation,” in *Industrial Automation and Robotics*, 2nd ed. Boston, MA, USA: Mercury Learning and Information, 2024, ch. 1, pp. 2–5.
5. F. Lamb, “Automation and Manufacturing,” in *Industrial Automation Hands-On*. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2013, ch. 1, pp. 1–2.
6. Servotecnica S.p.A., Monza, Italy. “Centralized and decentralized drives: the pros and cons,” *White Paper*, Jul. 31, 2020. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: <https://servotecnica.com/en/azionamenti-centralizzati-e-decentralizzati-i-pro-e-control/>
7. Danfoss Drives, Nordborg, Denmark. “Centralised Versus Decentralised Installation,” *Application Note*, Jun. 29, 2015. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/articles/dds/centralised-versus-decentralised-installation/>
8. SEW-EURODRIVE, Bruchsal, Germany. *MOVIMOT® MM..D — Operating Instructions*, Doc. No. 21214190/EN, Oct. 2014, pp. 16, 18, 29, 32–60, 102, 110–125, 137, 172–176, 198–205, 218, 225, 230. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/21214190.pdf>
9. SEW-EURODRIVE, Bruchsal, Germany. *MOVIMOT® MM..D with AS-Interface — Operating Instructions*, Doc. No. 21288593/EN, Nov. 2014, pp. 11–17, 25–35, 41–

44. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/21288593.pdf>
10. M. Á. Pulido, "Variadores de velocidad de motores de corriente alterna," in *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*. Marcombo, Barcelona, Spain, 2025, ch. 1, pp. 2.
11. Danfoss. "¿Qué es un variador de frecuencia variable?" Danfoss Drives. Accessed: Oct. 23, 2025. [Online.] Available: <https://www.danfoss.com/es-es/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>
12. ABB. "¿Qué es un variador de frecuencia?" ABB Drives. Accessed: Oct. 23, 2025. [Online.] Available: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
13. Danfoss Drives, VLT® Midi Drive FC 280: Flexible. Communicative. Easy to use., Danfoss Drives, Graasten, Denmark, 2017.
14. Danfoss A/S, *Guía de funcionamiento: VLT® Midi Drive FC 280*, Danfoss A/S, Graasten, Denmark, 2018.
15. J. R. Westcott, A. K. Gupta, and S. K. Arora, "Electrical and Electronic Controls," in *Industrial Automation and Robotics*, 2nd ed. Boston, MA, USA: Mercury Learning and Information, 2024, ch. 11, pp. 347.
16. F. Lamb, "Componentes and Hardware," in *Industrial Automation Hands-On*. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2013, ch. 3, pp. 62–64.
17. Siemens, *Product Information on SIMATIC S7-300 Automation System Module Data*, 2021. Accessed: Oct. 23, 2025. [Online]. Available: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109798860/s7_300_product_information_en-US_en-US.pdf
18. Siemens. "Information about the product phase-out of S7-300 / ET 200M components." Siemens.com. Accessed: Oct. 23, 2025. [Online.] Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109809890>
19. Siemens AG, Nuremberg, Germany. *Working with STEP 7 (Getting Started)*, 2009, pp. 13, 15–17. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/551/45531551/att_56643/v1/S7gs_b.pdf
20. Siemens AG, Nuremberg, Germany. *Programming with STEP 7*, 2010, p. 29. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/107/45531107/att_91661/v1/S7pr_b.pdf

21. PROFIBUS & PROFINET International (PI), Karlsruhe, Germany. PROFIBUS System Description, Rev. 2016, pp. 6, 10. Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.profibus.com/fileadmin/media/downloadsection/PROFIBUS_Systembeschreibung_ENG_web.pdf
22. Siemens AG, "Where and when do you need peripheral addressing?" [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/18325417/where-and-when-do-you-need-peripheral-addressing-?dti=0&lc=en-WW>
23. SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG, Bruchsal, Germany. *Sistema de accionamiento para instalación descentralizada. Interfaces y distribuidores de campo PROFIBUS*. Accessed: Jan. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.seweurodrive.com/home.html>
24. PROFIBUS & PROFINET International, "GSD Specification – Specification for PROFIBUS Device Description and Device Integration," *PROFIBUS & PROFINET International*, n.d. [Online]. Available: <https://www.profibus.com/download/gsd-specification>
25. Danfoss A/S, Graasten, Denmark. *Programming Guide: PROFIBUS DP, VLT® Midi Drive FC 280* (2016). Accessed: Jan. 15, 2026. [Online]. Available: <https://vlt-drives.danfoss.com>

ANEXOS

1. [PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO](#)