



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE BOBINADO
AUTOMÁTICO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN DE
0.5HP A 1HP MEDIANTE PLC, HMI Y SERVOMOTOR.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: MARISSA JANETH MORÁN RAMÍREZ
MAYERLI ALEJANDRA ARREAGA BARRERA

TUTOR: ING. GEOVANNY XAVIER GARCÍA FLOR, MSc

Guayaquil – Ecuador
2025 – 2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marissa Janeth Morán Ramírez con documento de identificación N° 0923236327 y Mayerli Alejandra Arreaga Barrea con documento de identificación N° 0931066377; manifestamos que:

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

Guayaquil, 15 de julio del año 2025

Atentamente,



Marissa Janeth Morán Ramírez

0923236327



Mayerli Alejandra Arreaga Barrera

0931066377

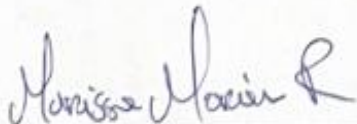
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Marissa Janeth Morán Ramírez con documento de identificación N° 0923236327 y Mayerli Alejandra Arreaga Barrera con documento de identificación N° 0931066377, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño e implementación del control de bobinado automático de motores eléctricos de inducción de 0.5hp a 1hp mediante PLC, HMI y servomotor.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 15 de julio del año 2025.

Atentamente,



Marissa Janeth Morán Ramírez

0923236327



Mayerli Alejandra Arreaga Barrera

0931066377

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Geovanny Xavier García Flor con documento de identificación N° 0922357702, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño e implementación del control de bobinado automático de motores eléctricos de inducción de 0.5hp a 1hp mediante PLC, HMI y servomotor, realizado por Marissa Janeth Morán Ramírez con documento de identificación N° 0923236327 y Mayerli Alejandra Arreaga Barrera con documento de identificación N° 0931066377, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de julio del año 2025.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Geovanny García Flor', is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a large initial 'G'.

Ing. Geovanny García Flor, MSc

0922357702

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre Johnny Morán y a mi madre Martha Ramírez, quienes son mi motor y mi mayor fuente de inspiración para seguir adelante, me han enseñado a jamás rendirme cuando he atravesado situaciones difíciles, por eso cada uno de mis logros indudablemente también son suyos.

A Dios, el eminente ingeniero de todo el universo, por crear desde el elemento más diminuto con tal perfección que me motiva a mi vocación como futura ingeniera.

A mis hermanos, por sus consejos y apoyo incondicional, por siempre estar presentes en cada paso que doy.

A mi tutor, Ing. Geovanny García, por su orientación y compromiso a lo largo de este proyecto.

A cada una de las personas que creyeron en mí y me apoyaron en el transcurso de mi formación académica.

Marissa Janeth Morán Ramírez

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, por su apoyo incondicional, por enseñarme que con esfuerzo todo es posible, por criarme como una mujer fuerte y segura de sí misma y por sus consejos cuando he sentido dudas sobre mis decisiones.

A mis hermanos, por siempre apoyarme y estar en los momentos más importantes.

A mi abuelita y abuelito por siempre estar presentes en cada momento, por cuidarme cuando era pequeña, por todo su amor que me demuestran cada día.

A cada persona que fue parte de este proceso y que siempre tuvo una palabra de apoyo para mí.

Mayerli Alejandra Arreaga Barrera

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a Dios, por darme la sabiduría y las fuerzas necesarias durante toda mi trayectoria hacia la ingeniería, por demostrarme que la perfección se encuentra hasta en los pequeños detalles.

A mis padres, por los sacrificios que realizaron para darme una buena educación, por enseñarme a luchar por mis sueños y formarme como una mujer resiliente.

A mi tía Judith Morán, quien desde pequeña me cuidó, me brindó su amor y ha sido siempre una luz en mi vida.

A mis hermanos, por su amor y apoyo incondicional.

A mi tutor, Ing. Geovanny García por sus palabras de apoyo, consejos, paciencia y por su excelente enseñanza académica.

Al Ing. Henry Vera por brindarme su soporte cuando más lo he necesitado.

A mis profesores por su dedicación en la enseñanza y su orientación a lo largo de mis estudios académicos.

Por último, pero no menos importante, a mi compañera de Tesis, Mayerli Arreaga, por su amistad y constante soporte durante toda la carrera, por su significativa colaboración en esta etapa final.

Marissa Janeth Morán Ramírez

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su amor incondicional, por todo el esfuerzo que han hecho por mis estudios, ellos son el pilar fundamental en mi vida. A mis hermanos, por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado en cada momento.

A mi familia y amigos quienes siempre me han hecho saber que están ahí para mí.

A mi pareja quien ha sido un gran apoyo durante estos años de formación académica, estando presente en cada momento tanto académico como personal recordándome que yo sí puedo y que soy capaz de lograr lo que me proponga.

A todos quienes han sido parte de mi formación académica, quienes me han brindado enseñanzas y conocimientos que me han ayudado a alcanzar esta meta.

Por último, a mi compañera de tesis Marissa Morán, siempre nos hemos apoyado, hemos trabajado juntas durante toda la carrera ayudándonos una a la otra, ese compañerismo con el paso del tiempo se convirtió en una linda amistad.

Mayerli Alejandra Arreaga Barrera

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DEL PROYECTO	TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
2025	MAYERLI ALEJANDRA ARREAGA BARRERA MARISSA JANETH MORÁN RAMÍREZ	ING. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER, MSc	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE BOBINADO AUTOMÁTICO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN DE 0.5HP A 1HP MEDIANTE PLC, HMI Y SERVOMOTOR.

En este Trabajo de Titulación se diseña e implementa el control de bobinado automático de motores eléctricos de inducción, la falta de precisión en el bobinado del estator presenta el 37% de fallas en los motores de inducción según el IEEE, esta es una de las causas que acorta la vida útil del motor, por lo cual los centros dedicados de este proceso deben aplicar medidas que garanticen la confiabilidad en el devanado del motor.

Los servomotores son dispositivos muy utilizados en la automatización debido a su bajo consumo energético y su precisión de movimiento, el uso de un servomotor como actuador del sistema permite tener una mayor precisión y control durante la etapa del bobinado evitando errores en el número de vueltas del bobinado.

El desarrollo del control automático del bobinado se dividirá en varias etapas en las cuales está incluida la investigación teórica, la programación PLC, el desarrollo de la interfaz HMI para la visualización de cada etapa del proceso y la configuración de los parámetros del servomotor para el devanado preciso de la bobina.

Palabras Clave: Bobinado Automático, PLC, Servomotor.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2025	MAYERLI ALEJANDRA ARREAGA BARRERA MARISSA JANETH MORÁN RAMÍREZ	ING. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER, MSc	“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC WINDING CONTROL FOR 0.5HP TO 1HP INDUCTION ELECTRIC MOTORS USING PLC, HMI, AND SERVOMOTOR”

The lack of precision in the winding of the stator presents 37% of failures in induction motors according to the IEEE, this is one of the causes that shortens the life of the motor, so the centers dedicated to this process should implement measures to ensure reliability in the winding of the motor.

Servomotors are devices widely used in automation due to their low energy consumption and their movement precision. The use of a servomotor as the actuator of the system allows for greater precision and control during the winding stage, avoiding errors in the number of turns of the winding.

The development of the automatic winding control will be divided into several stages in which are included the theoretical research, the PLC programming, the development of the HMI interface for the visualization of each stage of the process and the configuration of the servomotor parameters for the precise winding of the coil.

Key words: Automatic Winding, PLC, Servomotor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
2.1 IMPORTANCIA DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
3. OBJETIVOS.....	5
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
4.1. PLC.....	6
4.1.1 PLC INVT Modelo: IVC1L-1410MAT	6
4.2 HMI	7
4.2.1 Pantalla HMI Modelo: VT070.....	7
4.3 Lenguaje de programación Ladder o escalera	8
4.4 Motores eléctricos.....	9
4.5 Servomotor	10
4.5.1 Tren de pulso	11
4.5.2 Servomotor INVT Modelo:SV-ML06-0R4G-2-1A2-3000	12
4.6 Servo drive.....	13
4.7 Campo magnético	14
4.7.1 Propiedades del campo magnético.....	14
4.7.2 Inducción electromagnética	15
4.7.3 Inducción electromagnética en los motores de inducción	15
4.8 Funcionamiento de máquina eléctrica rotativa de un Motor	16
4.9 Bobinas	17
4.10 Bobinado de un motor.....	18
4.11 Sensor inductivo	18
4.12 Estándar de comunicación: RS-485	19
4.13 Protocolo de comunicación: Modbus RS-485	20
4.14 Bobinadora semiautomática.....	20
5. MARCO METODOLÓGICO	22
5.1 Descripción del proyecto	22
5.2 Tipo de metodología.....	23

5.3	Etapas del prototipo	23
5.3.1	Etapa 1: Análisis de requerimiento	23
5.3.2	Etapa 2: Programación del PLC.....	23
5.3.3	Etapa 3: Diseño de la interfaz HMI	43
5.3.4	Etapa 4: Configuración de los parámetros del servodrive	52
5.3.5	Etapa 5: Pruebas finales del control automático	55
6.	RESULTADOS.....	57
6.1	Programación del PLC	57
6.2	Interfaz HMI.....	61
6.2.1	Modo Manual	63
6.2.2	Modo automático.....	64
6.2.3	Alarmas.....	67
6.3	Implementación	68
7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	74
8.	PRESUPUESTO	75
9.	CONCLUSIONES	76
10.	RECOMENDACIONES	77
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
12.	ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. PLC INVT.....	6
Figura 2. Diseño de pantalla HMI.....	7
Figura 3. Pantalla HMI de la marca INVT.....	8
Figura 4. Ubicación de elemento en programación Ladder.....	9
Figura 5. Motor eléctrico de inducción.....	10
Figura 6. Elementos de un sistema de servomotor.....	11
Figura 7. Control de posición mediante señal de pulso.....	12
Figura 8. Servomotor de la marca INVT.....	12
Figura 9. Servo Drive de la marca INVT.....	13
Figura 10. Líneas del campo magnético.....	14
Figura 11. Ley de Faraday.....	15
Figura 12. Principio de funcionamiento de un motor.....	16
Figura 13. Funcionamiento de máquina rotativa.....	17
Figura 14. Partes principales de una bobina.....	17
Figura 15. Bobinado de un motor de inducción.....	18
Figura 16. Ejemplo de sensor inductivo.....	19
Figura 17. Protocolo RS-485 configuración semiduplex.....	19
Figura 18. Protocolo de comunicación Modbus RS-485.....	20
Figura 19. Máquina bobinadora semiautomática.....	21
Figura 20. Diagrama del proceso del bobinado automático.....	22
Figura 21. Primera parte de la calibración del servomotor.....	24
Figura 22. Segunda parte de la calibración del servomotor.....	25
Figura 23. Programación para la selección de modo manual o automático.....	26
Figura 24. Programación del modo manual.....	27
Figura 25. Programación de las recetas de la selección de los motores.....	28
Figura 26. Programación de las recetas de la selección de los motores.....	29
Figura 27. Programación de los textos de selección de motor M15 y M16.....	30
Figura 28. Programación de los textos de selección de motor M17 y M18.....	31
Figura 29. Programación del contador de vueltas.....	32
Figura 30. Programación de la conversión del número de vueltas a pulsos.....	33
Figura 31. Programación del modo automático.....	34

Figura 32. Programación del modo automático	35
Figura 33. Programación de la detección de material	35
Figura 34. Programación del movimiento del servo por tren de pulso	36
Figura 35. Programación del movimiento del servo por tren de pulso	37
Figura 36. Programación de la animación de la banda transportadora	38
Figura 37. Programación del contador del número de pruebas	39
Figura 38. Programación de la animación del devanado.....	39
Figura 39. Programación de las validaciones	40
Figura 40. Programación de las validaciones	41
Figura 41. Configuración del protocolo de comunicación	41
Figura 42. Protocolo de comunicación y modo de trabajo del PLC.....	42
Figura 43. Configuración del puerto de comunicación	43
Figura 44. Diagrama de flujo del proceso de bobinado automático.....	44
Figura 45. Diseño de la pantalla del menú principal	45
Figura 46. Memoria de Alarmas.....	46
Figura 47. Registro de pruebas realizadas.....	46
Figura 48. Menú administrador	47
Figura 49. Ingreso de parámetros por el usuario	47
Figura 50. Parámetros del motor mediante recetas	48
Figura 51. Etapa 1: Calibración.....	49
Figura 52. Pantalla del proceso automático.....	50
Figura 53. Menú de motores.....	50
Figura 54. Etapa 2: Detección de materiales	51
Figura 55. Etapa final del bobinado de un motor	52
Figura 56. Parámetros del servodrive	53
Figura 57. Terminal CN1 del servodrive.....	54
Figura 58. Modulo didáctico con servomotor, PLC y HMI	55
Figura 59. Conexión del motor al variador de frecuencia	56
Figura 60. Inicio de calibración.....	57
Figura 61. Calibración realizada	58
Figura 62. Banda en movimiento	59
Figura 63. Activación del modo manual	60
Figura 64. Activación del modo automático	61
Figura 65. Ventana para cargar la programación del HMI.....	62

Figura 66. Configuración mediante recetas.....	62
Figura 67. Calibración del eje	63
Figura 68. Contador igual al Set Point	63
Figura 69. Modo automático activado.....	64
Figura 70. Pantalla para la selección de motores	64
Figura 71. Indicador de banda en movimiento	65
Figura 72. Inicio del devanado	65
Figura 73. Mensaje de advertencia por falta de material.....	66
Figura 74. Etapa de devanado	66
Figura 75. Alarma de rotura o terminación de alambre.....	67
Figura 76. Tabla de alarmas	67
Figura 77. Integración del variador de Frecuencia.....	68
Figura 78. Pruebas realizadas	69
Figura 79. Detección de falta de alambre.....	69
Figura 80. Prueba de fallo de alambre.....	70
Figura 81. Estado de C4 en fallo de alambre.....	71
Figura 82. Estado de Y4 por rotura de alambre	72
Figura 83. Reinicio del proceso.....	73
Figura 84. Reset del contador C4	73
Figura 85. Conexión del PLC.....	83
Figura 86. Conector DB44	83
Figura 87. Relé electromecánico para sensor inductivo.....	84
Figura 88. Relé para el frenado del servomotor	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pines utilizados del terminal CN1	54
Tabla 2. Cronograma de actividades	74
Tabla 3. Cuadro de presupuesto	75

1. INTRODUCCIÓN

En el entorno industrial los motores son un elemento clave para diversos procesos, como sistemas de transporte, plantas de energía, sistemas de bombeo, etc. Por ello es necesario que su construcción interna cumpla con los estándares de calidad para que no se acorte la vida útil del motor.

La etapa del bobinado es clave en el buen funcionamiento del motor ya que es la bobina la que produce el campo magnético y de esta manera se realiza la conversión de la energía eléctrica a mecánica provocando que el motor gire, dentro de esta fase el servomotor al ser un elemento que posee una mayor precisión en cuanto a posición y velocidad es capaz de brindar un devanado más preciso.

Este Trabajo de Titulación tiene como objetivo principal mostrar las etapas de bobinado de un motor utilizando PLC, HMI y un servomotor como actuador del sistema en la parte de la elaboración de las bobinas. Con este propósito se abordan aspectos como la configuración del servomotor y su ServoDrive, la programación de las etapas en el PLC y su visualización a través de la pantalla HMI y la implementación del sistema en un módulo que se encuentra en el Laboratorio de Automatización Industrial II.

La finalidad de este trabajo es mostrar el uso de los servomotores dentro de la industria y las ventajas que estos ofrecen, el usar servomotores en un proceso de control real ayuda a los estudiantes a tener una visión más técnica de estos elementos y conocer el funcionamiento de estos.

2. PROBLEMA

Para el bobinado de un motor de inducción se debe realizar una serie de devanados de alambre conductor, por lo general el material utilizado es cobre, estos hilos van colocados en el estator del motor y tienen como función producir el campo magnético necesario para convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo cual, se debe elaborar de manera precisa (Vazques y Rodriguez Ltd, 2024).

Un bobinado realizado de manera precisa brinda una corriente que fluye de forma suave y genera un campo magnético consistente, logrando optimizar el desempeño del motor; un paso clave para lograr es que las bobinas que van enrolladas alrededor del estator cuenten con una disposición uniforme y precisa (Hidroelec Bobinados, 2024).

Este proceso necesita un estándar de calidad alto, según el IEEE, el 37% de las fallas en los motores de inducción se debe a problemas en el bobinado del estator. Ante esta problemática, los centros de reparación deben aplicar estándares de calidad y procesos bien definidos que garanticen un alto nivel de confiabilidad en el bobinado de los motores. (Fonseca, 2023).

Dentro de este contexto, la automatización industrial juega un papel importante, el uso de servomotores optimiza la productividad al mejorar la calidad y reducir costos operativos. La utilización de estos dispositivos es esencial en los sistemas de automatización industrial modernos por capacidad para el manejo de tareas complejas y de alta velocidad (Fortune Business Insights, 2025).

Los servomotores son utilizados en un 90% para operaciones de alto rendimiento, bajo condiciones de carga ligera. Su capacidad para disminuir el consumo energético y los gastos operativos, los posicionan en la alternativa ideal en industrias cuyo enfoque es la sostenibilidad y la optimización de costos. (Advanced Motion Controls, 2024).

Dentro de la industria se busca tener un control preciso del movimiento por lo que los servomotores desempeñan un papel fundamental en este tipo de acción. El uso de los servomotores en el campo de la ingeniería, contribuyen de manera significativa a mejorar la calidad y tener una mayor productividad de los procesos, facilitando la automatización y optimización de diversas operaciones industriales. (Cardona, 2023).

En la actualidad, se incorporan estos servomecanismos dentro de las industrias debido a que ofrecen una mayor precisión y control en el proceso de producción. Los estudiantes deben mantenerse actualizados en el uso y manejo de este tipo de actuadores. (Lita & Maldonado, 2024).

No obstante, en la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, se pudo identificar una limitación en la formación práctica de las asignaturas Automatización Industrial I y II, debido a que solo hay un tablero que cuenta con servomotor y servodrive, por ende, los estudiantes no adquieren el conocimiento de la selección, configuración y programación de servodrives.

La poca disponibilidad de módulos didácticos con servomotores comparado a la gran cantidad de estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización limita realizar prácticas relacionadas al uso de estos dispositivos en el Laboratorio de Automatización Industrial II.

2.1 IMPORTANCIA DE LA PROBLEMÁTICA

Los motores eléctricos son elementos claves en el campo industrial, utilizados en fábricas, plantas energéticas o sistemas de transporte, por lo tanto, un fallo en estos dispositivos conlleva a una gran pérdida económica. Un bobinado realizado con precisión permite minimizar las pérdidas energéticas y reducir el sobrecalentamiento lo que alarga la vida útil del motor y evita paradas inesperadas en la producción (Bobinados Castel, 2025).

Los servomotores cuentan con la destreza necesaria para ejecutar diversas tareas de montaje repetidamente con alta precisión y sin presentar fatiga, conocidos por tener un control de velocidad y posición exactos los convierte en una herramienta eficaz dentro de aplicaciones que necesiten un control exacto del movimiento ya que su control de aceleración y desaceleración es más eficiente y exacto (López, 2024).

Dentro del ámbito académico, este proyecto busca aportar de manera significativa a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización, al dar a conocer las ventajas del uso de servomotores dentro de la industria y la importancia de tener conocimiento con respecto a la selección y configuración de estos dispositivos.

Al afrontar el desconocimiento en la configuración de servomotores y la carencia de prácticas con estos dispositivos en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, esta propuesta busca incentivar la formación técnica de los estudiantes presentando el uso de este equipo como actuador de un proceso de control lo cual podría representar un complemento dentro del aprendizaje práctico.

Tener la posibilidad de trabajar con servomotores en un proceso de control real podría ayudar a los estudiantes a entender el funcionamiento de estos dispositivos desde una parte más técnica y dar una visión de los servomotores como una opción para la solución a un problema en el campo de la automatización.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar e implementar un sistema de control para el bobinado automático de motores eléctricos de inducción de 0.5hp a 1hp mediante PLC, HMI y servomotor.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Desarrollar la programación del PLC para el control del bobinado automático en motores eléctricos de inducción.
- Diseñar una interfaz HMI para el control y parametrización mediante recetas del sistema de control automático.
- Implementar la programación del control de bobinado en el PLC, servomotor y HMI en un tablero del Laboratorio de Automatización Industrial II.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. PLC

Un PLC se puede definir como una computadora o autómatas programables, diseñado para trabajar en ambientes industriales. Al poseer una memoria programable se puede almacenar diferentes instrucciones para el control lógico o secuencial, de esta manera se puede manejar máquinas y procesos utilizando las entradas y salidas que ofrece el PLC las cuales pueden ser analógicas o digitales. Su funcionamiento consiste en un bucle repetitivo, que consiste en leer las entradas, la ejecución del programa y por último actualizar las salidas. (Elecproy, 2024).

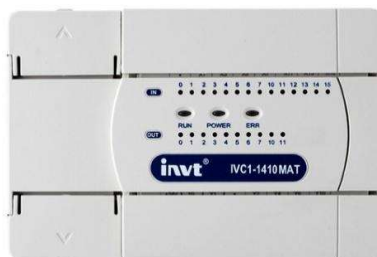
4.1.1 PLC INVT Modelo: IVC1L-1410MAT

Es un controlador lógico programable utilizado en sistemas industriales de control y automatización. Este modelo pertenece a la familia de productos de automatización de INVT, una marca reconocida por ofrecer soluciones eficientes, económicas y confiables para aplicaciones industriales compatible con el protocolo de comunicación RTU (INVT, 2021).

El PLC que se observa en la Figura 1 funciona con un voltaje de 100 a 240 Vac con una corriente de entrada de 1.5 A, en cuanto a sus salidas estas entregan 900 mA para 5V/GND, 300 mA para 24V/GND y 600 mA para 24V/COM. Con un total de 14 entradas digitales y 10 salidas tipo transistor para un control que requiera rapidez y precisión; posee tres puertos de comunicación uno RS232 (Puerto 0) y dos RS485 (INVT, 2021).

Figura 1

PLC INVT



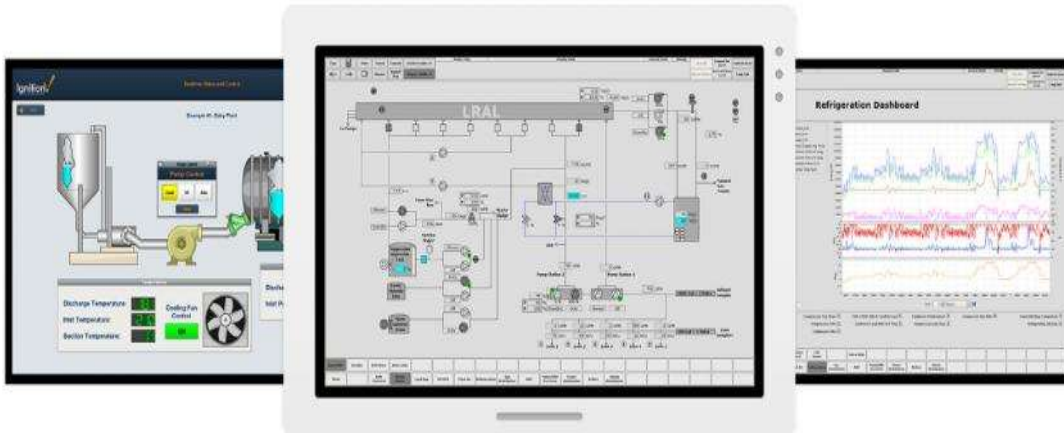
Nota. PLC de la marca INVT modelo: IVC1L-1410MAT, tiene salida tipo transistor. Tomado de (IndiaMART, 2025).

4.2 HMI

Como sus siglas lo indican es una interfaz Hombre-Máquina, es una herramienta muy utilizada por el operario en el ámbito industrial para controlar el proceso automatizado, posee una pantalla la cual permite visualizar los datos del sistema en tiempo real tal y como se observa en la Figura 2 permitiendo que el operario tome acciones ya que se pueden incluir botones, indicadores o alarmas visuales (Logicbus, 2024).

Figura 2

Diseño de pantalla HMI



Nota. Ejemplo de diseños de pantallas HMI en las cuales incluye el proceso que se realiza. Tomado de (Ignition, 2025).

4.2.1 Pantalla HMI Modelo: VT070

El modelo que se muestra en la Figura 3 cuenta con una pantalla de 7 pulgadas y resolución de 800x480, su memoria interna de trabajo es de 64 MB y una memoria RAM con respaldo de batería de 128 KB. Incorpora un procesador CPU RISC ARM9 de 32 bits y dispone de un puerto serie compatible con RS232 y RS485. Su voltaje de entrada es de 24VDC y posee un nivel de protección IP65, lo que garantiza resistencia al polvo y al agua en condiciones industriales (SIMALEC, 2025).

Figura 3

Pantalla HMI de la marca INVT



Nota. Modelo de pantalla perteneciente a la serie VT modelo 070. Tomado de (SIMALEC, 2025).

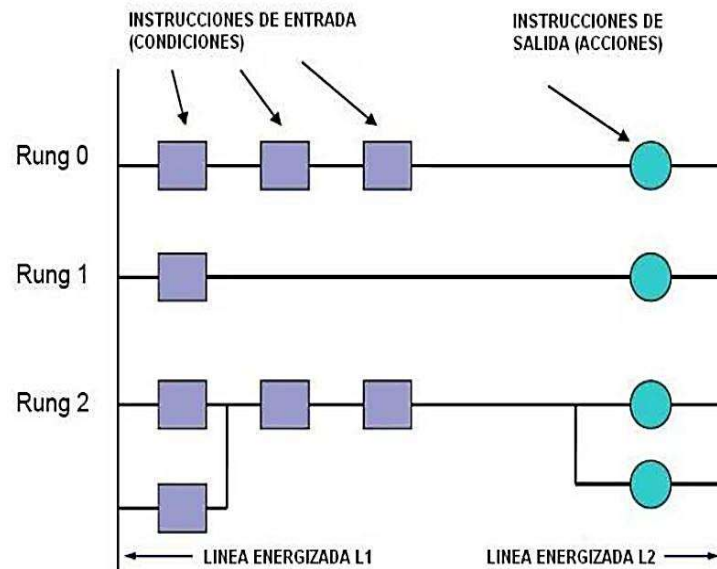
4.3 Lenguaje de programación Ladder o escalera

Es uno de los lenguajes de programación más utilizados para la programación de PLCs, por medio de símbolos gráficos y en forma de escalera cada segmento tiene su propia lógica, consta de dos rieles encargados de simbolizar la alimentación, los cuales son de forma vertical y líneas horizontales que simbolizan los escalones en los cuales se insertan los contactos eléctricos y se va formando la secuencia lógica (Alvarado, 2022).

Como se observa en la Figura 4 la programación Ladder o escalera se inicia de izquierda a derecha, en el lado izquierdo se colocan las entradas las cuales se pueden utilizar ya sean en serie o paralelo para establecer una conexión, normalmente se hacen uso de contacto NO, es decir, normalmente abierto, si se requiere que la corriente no fluya de un extremo a otro desde un inicio o NC, es decir, normalmente cerrado, para permitir el flujo de corriente de extremo a extremo; las instrucciones de salida se conectan en la parte derecha, ya que ellas van a estar condicionadas por las señales de entrada, por lo general se utilizan bobinas las cuales solo pueden ser conectadas en paralelo (Alvarado, 2022).

Figura 4

Ubicación de elemento en programación Ladder



Nota. Programación Ladder o también llamada programación en escalera es un tipo de lenguaje gráfico para PLCs también conocido como diagrama de contactos. Tomada de (Alvarado, 2022).

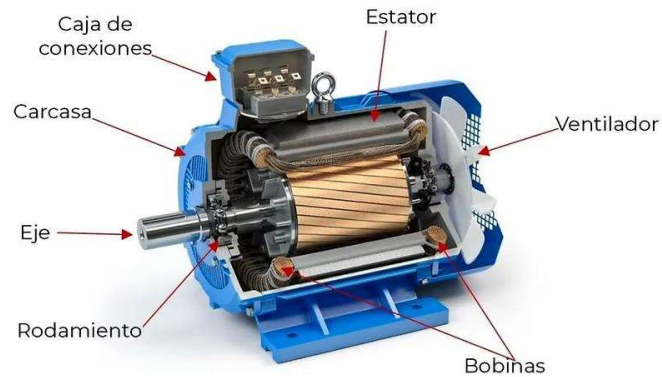
4.4 Motores eléctricos

La función de los motores es convertir la energía eléctrica en energía mecánica, basándose en la Ley de Lorentz, esta ley explica que al existir una corriente eléctrica a la cual se le aplica una fuerza estando dentro del campo magnético, ocasiona un movimiento rotatorio. Estos motores funcionan tanto con corriente continua como con corriente alterna (Promelsa, 2023).

Un motor de inducción como se puede observar en la Figura 5 es un tipo de motor de corriente AC asincrónico compuesto por dos elementos claves el estator encargado del paso de la corriente AC para generar un campo magnético giratorio induciendo al rotor que es el segundo elemento de este motor el cual producirá una fuerza magnética creando una rotación (Aude, 2024).

Figura 5

Motor eléctrico de inducción



Nota. Partes de un motor de inducción de corriente alterna, sus elementos principales el estator y el rotor Tomado de (Aude, 2024).

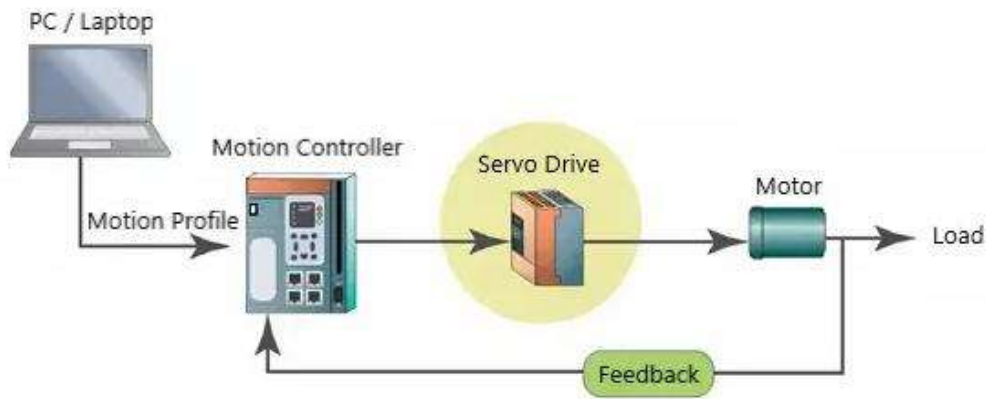
4.5 Servomotor

Un servomotor funciona mediante un sistema de retroalimentación el cual está vigilando constantemente en qué posición se encuentra el eje del motor, siendo guiado por una señal de control conocida como PWM enviada por un controlador que lo ubica en la posición requerida, este controlador puede ajustar la potencia de salida para corregir la posición del eje, por ello los servomotores se especializan en controlar con gran precisión movimientos rotativos y lineales utilizados para realizar movimientos suaves y exactos (AdvancedMotionControls, 2024).

En la industria se encuentran diferentes tipos de servomotores ya sean rotativos, lineal con o sin escobillas, en cualquier caso, los elementos principales para el funcionamiento serán los mismos, motor, encoder, controlador y servodrive. En la Figura 6 se detalla en qué orden van enlazados cada uno de estos elementos. (URANY, 2023).

Figura 6

Elementos de un sistema de servomotor



Nota. Los servomotores son capaces de implementar en un solo equipo los 4 componentes. Tomado de (URANY, 2023).

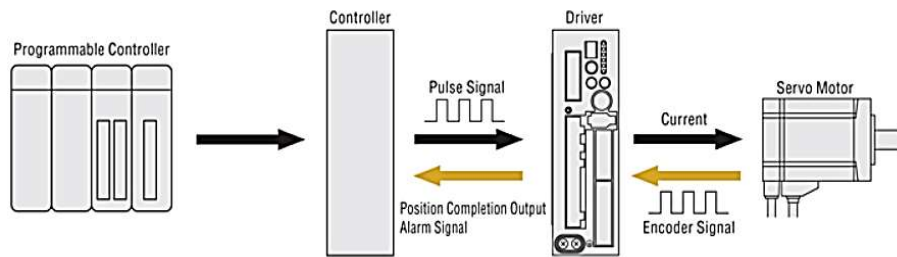
4.5.1 Tren de pulso

En el ámbito de las señales digitales, un tren de pulsos se refiere a una señal que únicamente puede adoptar dos estados: 1 o 0. La característica distintiva de esta señal radica en que la duración de cada uno de estos estados puede ser modificada, lo que a su vez influye en la forma en que se interpreta la señal. Estos pulsos crean ondas las cuales generan una perturbación, estas sucesiones de pulsos se repetirán en intervalos de tiempo regulares, en la Figura 15 se muestra un ejemplo de la programación de un tren de pulso (Automatización en español, 2020).

En los servomotores el tren de pulso se encarga de controlar tanto el ángulo como la velocidad de rotación, cada pulso que es enviado equivale a un incremento en el movimiento del eje de salida del servomotor, según la frecuencia de estos pulsos se determinará la velocidad, a mayor frecuencia mayor velocidad, por otro lado, la cantidad de pulsos determina la posición, cada pulso mueve el eje del servomotor, en la Figura 7 se observa el proceso para controlar la posición del servomotor mediante un tren de pulso (López, 2024).

Figura 7

Control de posición mediante señal de pulso



Nota. La señal del tren de pulso es introducida por el controlador, el servo Drive recibe estos pulsos y los envía al servomotor en forma de corriente. Tomado de (ORIENTAL MOTOR USA CORP, 2025).

4.5.2 Servomotor INVT Modelo:SV-ML06-0R4G-2-1A2-3000

En la Figura 8 se muestra un diseño de servomotor de imanes permanentes de corriente alterna (CA). Con un rango de potencia de 200 a 15 kW, permiten su uso en robots del ámbito industrial, comúnmente utilizados para el montaje de chips, brazos mecánicos y bandas transportadoras, este servomotor tiene un nivel de protección IP65 y una velocidad máxima de 3000 rpm (IndiaMART, 2025).

Figura 8

Servomotor de la marca INVT



Nota. Servomotor INVT modelo SV-ML06-0R4G-2-1A2-3000 capaz de realizar movimientos de 180° a 360°. Tomado de (IndiaMART, 2025).

4.6 Servo drive

Los servodrivens son elementos fundamentales en los sistemas de control de movimiento que operan con servomotores. Su función principal es suministrar la energía requerida y gestionar la velocidad, la dirección y la posición del servomotor, permitiendo así que ejecute movimientos con precisión y control. El servo driver opera basándose en la retroalimentación de posición proporcionada por un encoder, este dispositivo recibe señales de control del sistema principal, las cuales especifican la posición deseada del eje del servomotor. (CINSELMATIC SL, 2024).

El modelo utilizado es el SV-DA200-0R4 2-S0 que se muestra en la Figura 9 funciona con un voltaje de 220 V en la entrada y una frecuencia de salida que tiene un rango de 0 a 400Hz. Este modelo admite diversos modos de control para la velocidad, punto a punto, torque y posición; sus interfaces de comunicación son RS485, CANopen, PROFIBUS-DP y EtherCAT (INVT, 2023).

Figura 9

Servo Drive de la marca INVT



Nota. Servo Drive SV-DA200-0R4 2-S0 usado para el control de luces pilotos o motores, capaz de recibir señales de dispositivos externo. Tomado de (JRX automation s.r.o., 2025).

4.7 Campo magnético

Un campo magnético es una zona en donde las fuerzas magnéticas actúan sobre cargas eléctricas las cuales están en movimiento por medio de una fuerza que se denomina la Fuerza de Lorentz. Al ser manifestación del campo electromagnético tanto el campo eléctrico como el magnético están relacionados por lo tanto un solo fenómeno puede ser influenciado por el campo magnético o eléctrico e incluso ser una combinación de los dos (Transfer Multisort Elektronik, 2024).

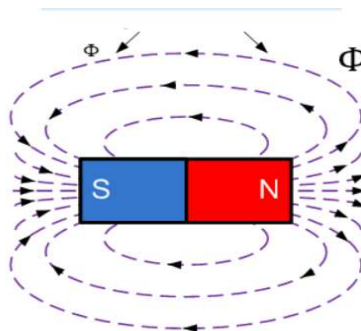
El campo magnético posee magnitud y dirección por lo cual es considerado un campo vectorial, la inducción magnética y la intensidad de campo son las magnitudes físicas que describen a un campo magnético; existen dos tipos de campo magnético, el continuo que se forma cuando existen cargas que se crean de manera continua y el alterno que forma una especie de onda electromagnética que es cuando el movimiento de la carga es variable (Transfer Multisort Elektronik, 2024).

4.7.1 Propiedades del campo magnético

Las propiedades de las líneas de un campo magnético son las que determinan su comportamiento, como se observa en la Figura 10 estas líneas forman un bucle continuo y entre más cerca se encuentren y mayor cantidad de líneas existan el flujo magnético es más fuerte, la dirección que toman se basa en el sentido que tomaría una brújula si se encontrara en un punto determinado del campo (Matan, 2023).

Figura 10

Líneas del campo magnético



Nota. En el campo magnético existen dos polos Norte y Sur que funcionan en conjunto, por lo tanto, las líneas siempre serán cerradas. Tomado de (Plataforma Educativa 'ELE', 2024).

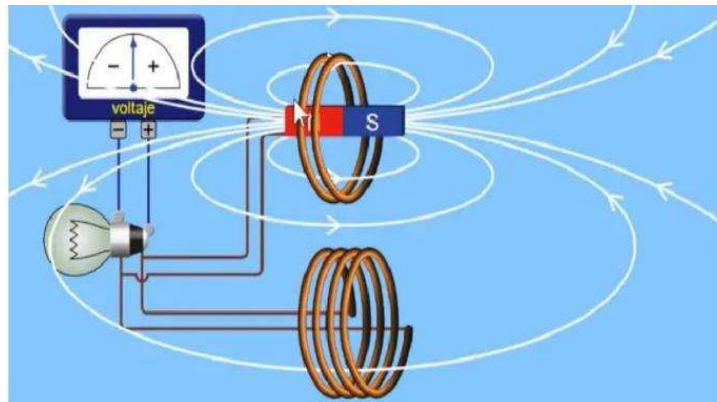
4.7.2 Inducción electromagnética

Los motores eléctricos utilizan lo denominado fenómeno de inducción electromagnética, cuando un campo magnético no es constante puede generar una corriente eléctrica y a su vez una corriente eléctrica es capaz de generar un campo magnético que gire alrededor de ella. Una de las aplicaciones principales de este fenómeno es la de generar electricidad tal y como lo describe el científico Michael Faraday (TotalEnergies, 2020).

Faraday descubrió que un campo magnético al ser modificado por una fuerza externa es capaz de generar corriente eléctrica, en la Figura 11 se observa que al utilizar una bobina la cual estaba hecha de cobre que es un material conductor, utilizando un imán que fue el encargado de generar el campo magnético y girando la espira de cobre fue capaz de generar una corriente eléctrica. (TotalEnergies, 2020).

Figura 11

Ley de Faraday



Nota. El campo magnético generado por un imán puede producir corriente eléctrica al ser modificado por una espira hecha de cobre. Tomado de (Krisbel, 2025).

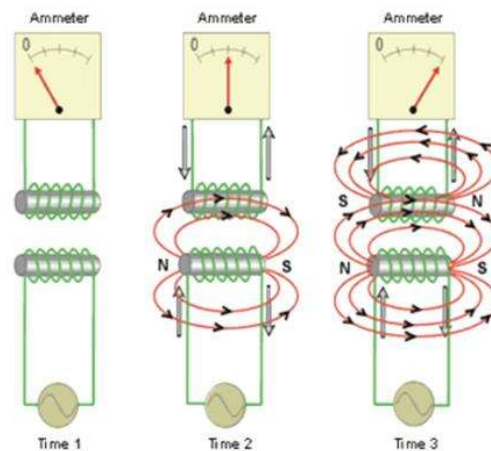
4.7.3 Inducción electromagnética en los motores de inducción

El funcionamiento de estos motores está basado en que el campo magnético ubicado en el estator, que es la parte inmóvil del motor, contiene los devanados de la bobina encargada de la alimentación que provoca una corriente en el rotor lo que ocasiona que se genere un torque y de esta forma el rotor comienza un movimiento giratorio como

se observa en la Figura 12, su velocidad de rotación depende de cuanta frecuencia de corriente alterna se aplique en el estator (Muñoz, 2024).

Figura 12

Principio de funcionamiento de un motor



Nota. El eje del estator produce la inducción electromagnética e induce una corriente en el rotor al interactuar ambas cosas se genera el giro de rotor. Tomado de (Energía Controlada de México , 2025).

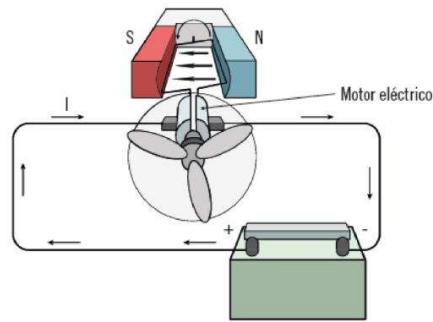
4.8 Funcionamiento de máquina eléctrica rotativa de un Motor

Las máquinas eléctricas son equipos capaces de convertir diversos tipos de energía a energía eléctrica y viceversa, también pueden transformar la energía eléctrica en electricidad, pero con una presentación diferente; existen tres categorías que agrupan a este tipo de máquinas: motores, transformadores y generadores (Prodel, SA, 2022).

Como se observa en la Figura 13 en una máquina eléctrica rotativa, la corriente eléctrica viaja por un conductor ubicado en un núcleo generalmente metálico, el cual comienza a girar provocando que las líneas de campo se corten, su sentido depende de la dirección de la corriente eléctrica (González, 2023).

Figura 13

Funcionamiento de máquina rotativa



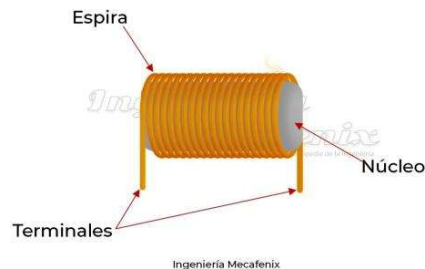
Nota. En el interior de un imán que tiene sus respectivos campos hay un dispositivo conductor conectado una batería y en el momento que empieza a circular la corriente eléctrica se induce el giro de la espira del interior del campo eléctrico. Tomado de (González, 2023).

4.9 Bobinas

También conocidas como inductores, están formadas por hilos de cobre que se enrollan de forma circular como se muestra en la Figura 14, lo que hace la bobina es transformar la energía eléctrica en magnética y de esta manera se produce el movimiento del motor. El conductor de la bobina tiene una capa de esmalte para la protección entre cada espira ya que la corriente puede circular de un terminal a otro, aunque no se completa la vuelta, por ello esta capa es importante para prevenir cortocircuitos (Ingeniería Mecafenix, 2023).

Figura 14

Partes principales de una bobina



Nota. La bobina consta de un núcleo, espira y terminales; entre mayor sea el número de espiras mayor será la energía almacenada en la bobina. Tomada de (Ingeniería Mecafenix, 2023).

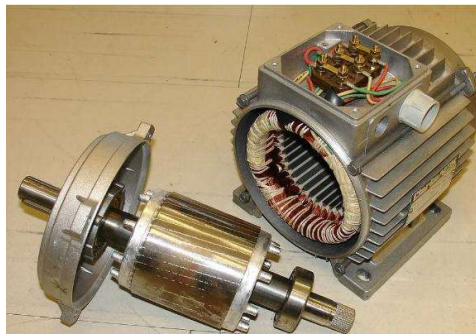
4.10 Bobinado de un motor

El correcto bobinado de un motor es la parte fundamental para la creación del campo magnético, que es el que permite que el rotor gire, el bobinado básicamente es enrollar hilos de cobre en las partes polares del motor, se debe tener en cuenta que un bobinado deficiente causa que la corriente no fluya de una manera suave, también se puede ver afectada la vida útil del motor y su rendimiento (Hidroelec Bobinados, 2024).

Para realizar este proceso se debe desmontar el motor y tomar diferentes datos respecto al bobinado como el calibre del alambre, la longitud del estator, entre otros. En la Figura 15 se observa que las bobinas de los motores trifásicos emplean una especie de moldes que una vez finalizado el proceso del bobinado se insertan en las ranuras (Aguilar, 2021).

Figura 15

Bobinado de un motor de inducción



Nota. El bobinado de un motor eléctrico se realiza desarmando el motor por lo que es necesario tener conocimiento y experiencia en este campo. Tomado de (MOTORBA, 2023).

4.11 Sensor inductivo

Los sensores inductivos son dispositivos electrónicos capaces de detectar la presencia de metales ferrosos sin necesidad de contacto físico. Su funcionamiento se basa en la inducción electromagnética: se refiere a un campo magnético generado por la bobina del sensor el cual se altera al detectar un objeto metálico, produciendo una señal eléctrica, detectan la presencia de un objeto metálico para determinar si se encuentra o no en una posición establecida, son útiles para realizar el conteo de objetos metálicos

que pasan por un punto específico, en la Figura 16 se puede observar un sensor inductivo real (Quispe Rojas, 2020).

Figura 16

Ejemplo de sensor inductivo



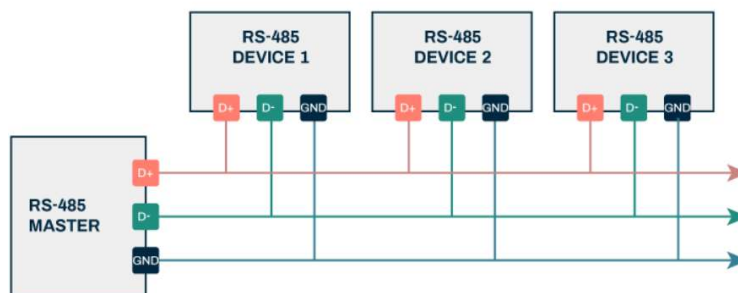
Nota. Imagen real de un sensor inductivo. Tomada de (QBPROFE, 2021).

4.12 Estándar de comunicación: RS-485

RS-485 es un estándar de comunicación de la capa física del modelo OSI empleado en sistemas de control y adquisición de datos. Su comunicación es de manera serial, el cable utilizado por lo general es de dos hilos uno para la señal de datos y otro para los datos invertidos en algunas ocasiones existe un tercer hilo que es la referencia a tierra, se pueden conectar hasta 32 dispositivos controladores y permite una comunicación a una distancia de hasta 1200 metros, en la Figura 17 se observa la conexión del estándar RS-485 de dos hilos (Weis, 2021).

Figura 17

Protocolo RS-485 configuración semiduplex



Nota. La configuración de dos hilos permite la transmisión y recepción de datos en cualquier momento. Tomada de (Harris, 2021).

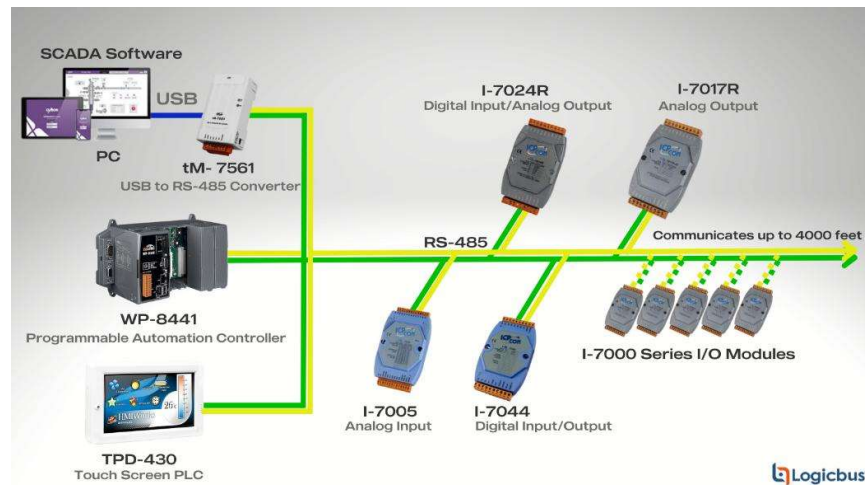
4.13 Protocolo de comunicación: Modbus RS-485

Es un protocolo que permite la interconexión de equipos electrónicos, su funcionamiento se basa en un Modbus maestro que es el que pide la información a aquellos dispositivos que tienen el papel de esclavo, por otro lado, se encuentra el Modbus esclavo el cual solo puede dar información cuando el maestro haga la petición (Guailacela Mesías & Pérez Maldonado, 2021).

La combinación del protocolo Modbus con el estándar RS-485 resulta en una Modbus RS-485 que es se pueden conectar varios dispositivos a una sola línea de comunicación como se observa en la Figura 18, su arquitectura se basa en que el maestro envía un mensaje con la dirección única de cada esclavo esto permite una comunicación más ordenada y al ofrecer una comunicación a larga distancia evita la pérdida en la calidad de los datos (V2C, 2024).

Figura 18

Protocolo de comunicación Modbus RS-485



Nota. El protocolo Modbus es utilizado en redes SCADA para la obtención de datos por medio de la conexión con una PC. Tomado de (Logicbus, 2025).

4.14 Bobinadora semiautomática

Este proyecto se trata del desarrollo de una bobinadora semiautomática que pretende juntar la exactitud de una máquina automática con la parte del control manual,

mejorando la velocidad de producción. Con una estructura mecánica encargada de aguantar las tensiones del proceso de bobinado, un motor eléctrico para controlar el giro del eje junto a su variador de frecuencia y un sensor inductivo para detectar cada vuelta (Quishpi-Quinte & Lata-García, 2024).

El alambre que se vaya a utilizar para el bobinado se coloca en el carrete y se deberá especificar tanto el número de vueltas como la velocidad, una vez establecidos estos parámetros el motor empieza con la rotación y el sensor comienza a contar cada giro, la máquina es capaz de detenerse cuando se llega al número de vueltas establecidos, en la Figura 19 se muestra el resultado final de máquina bobinadora semiautomática (Quishpi-Quinte & Lata-García, 2024).

Figura 19

Máquina bobinadora semiautomática



Nota. Implementación de una bobinadora semiautomática para la elaboración de bobinas de motores eléctricos y transformadores utilizando un motor eléctrico encargado de realizar la rotación del eje. Tomado de (Quishpi-Quinte & Lata-García, 2024).

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el control del bobinado automático de motores de inducción de 0.5hp y 1hp. Para el control principal del prototipo se utilizará un PLC, en el cual mediante una pantalla HMI se podrá iniciar el proceso y a la vez validar el estado y comportamiento del bobinado, esto se llevará a cabo mediante tres fases.

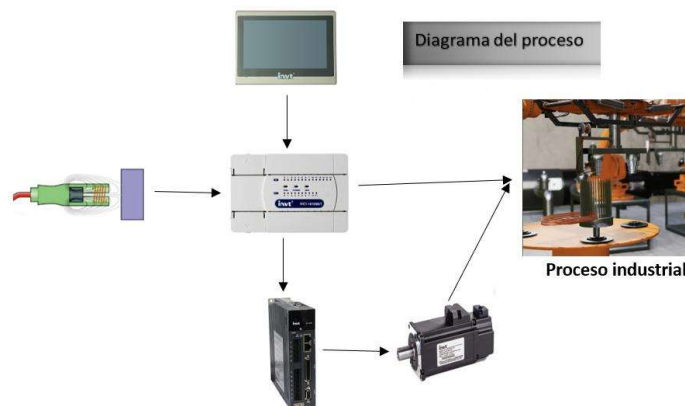
La primera fase consiste en la calibración del eje del servomotor por parte del administrador, es decir, que el eje se encuentre alineado en una posición inicial, adicionalmente el administrador podrá realizar prueba de modo manual ingresando la velocidad y número de vueltas para el devanado, la segunda fase equivale a la detección del material, el cual se valida mediante un sensor externo.

En el modo automático, el operador selecciona el tipo de motor que se requiera realizar el bobinado, es decir, seleccionar parámetros de potencia y rpm del motor, la velocidad y el número de vueltas se encuentran ingresados por el administrador, La tercera fase es el proceso del bobinado en el que un servodrive controla un servomotor el cual es el actuador del prototipo.

A su vez en la tercera fase se puede detectar de forma externa el conteo de vueltas por un sensor inductivo. En la Figura 20 se muestra el diagrama de proceso del proyecto.

Figura 20

Diagrama del proceso del bobinado automático.



Nota. Diagrama del proceso.

5.2 Tipo de metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se aplica la metodología experimental, la cual consiste en realizar las pruebas del prototipo en un tablero del Laboratorio de Automatización Industrial II y ajustar los parámetros de configuración en el PLC y servodrive según sea necesario. También se aplica la metodología sistemática, donde se establece mediante un enfoque organizado, las etapas que se llevan a cabo para cumplir con los objetivos del prototipo.

5.3 Etapas del prototipo

5.3.1 Etapa 1: Análisis de requerimiento

Es importante analizar y comprender a detalle cada objetivo que se desea lograr en el proyecto, es decir, en esta etapa se estudió cómo se realiza el bobinado en motores de inducción y el accionamiento de un servomotor para entender los parámetros que se deben configurar en el servodrive.

5.3.2 Etapa 2: Programación del PLC

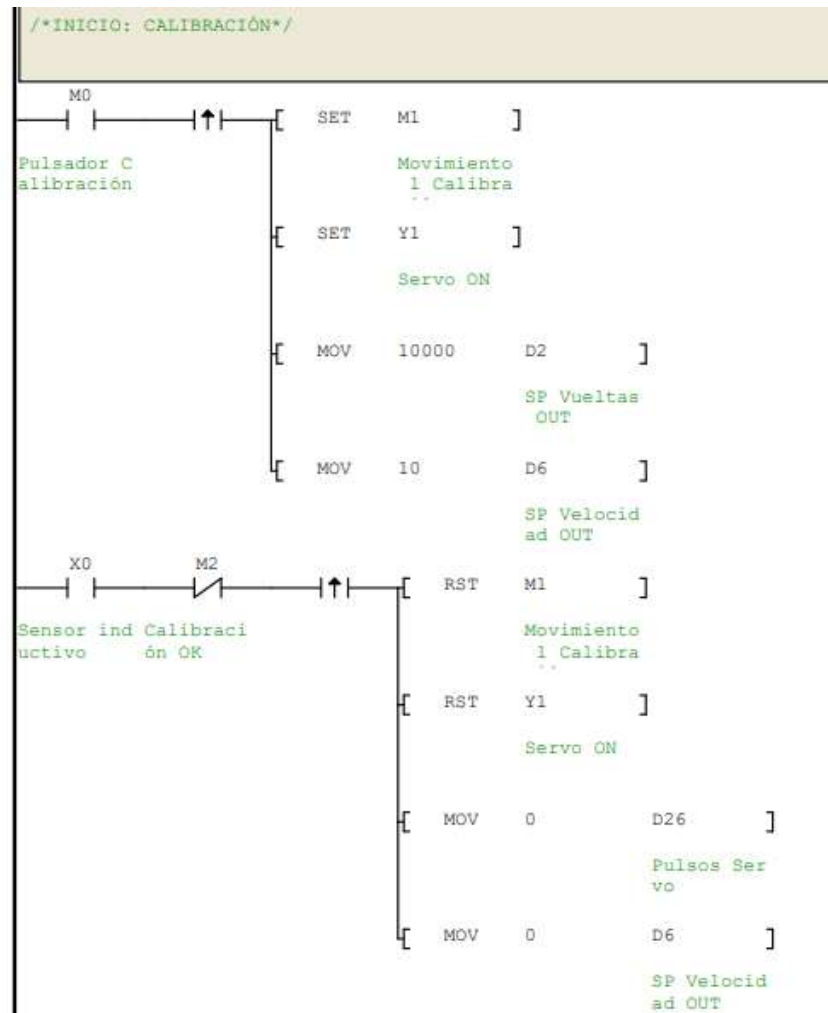
La programación fue realizada en lenguaje Ladder o escalera, en la cual se estableció la lógica de control, el tren de pulso, la validación de entradas y salidas digitales del PLC, configuración del freno del servomotor, estados de encendido, arranque y parada.

Network 1: Calibración del servomotor

El servomotor encuentra su posición inicial para empezar el bobinado y con el fin de que el conteo de vueltas sea correcto. La variable X0 representa una entrada digital, que corresponde al sensor externo que se utilizará en la calibración donde detectará un flanco positivo. Se ha establecido en D2 un número de vueltas y en D6 una velocidad fija para la calibración, además se ha dividido en dos imágenes la programación de la calibración del eje del servomotor, en la Figura 21 se muestra la primera parte de la programación en el software Auto Station de la calibración.

Figura 21

Primera parte de la calibración del servomotor

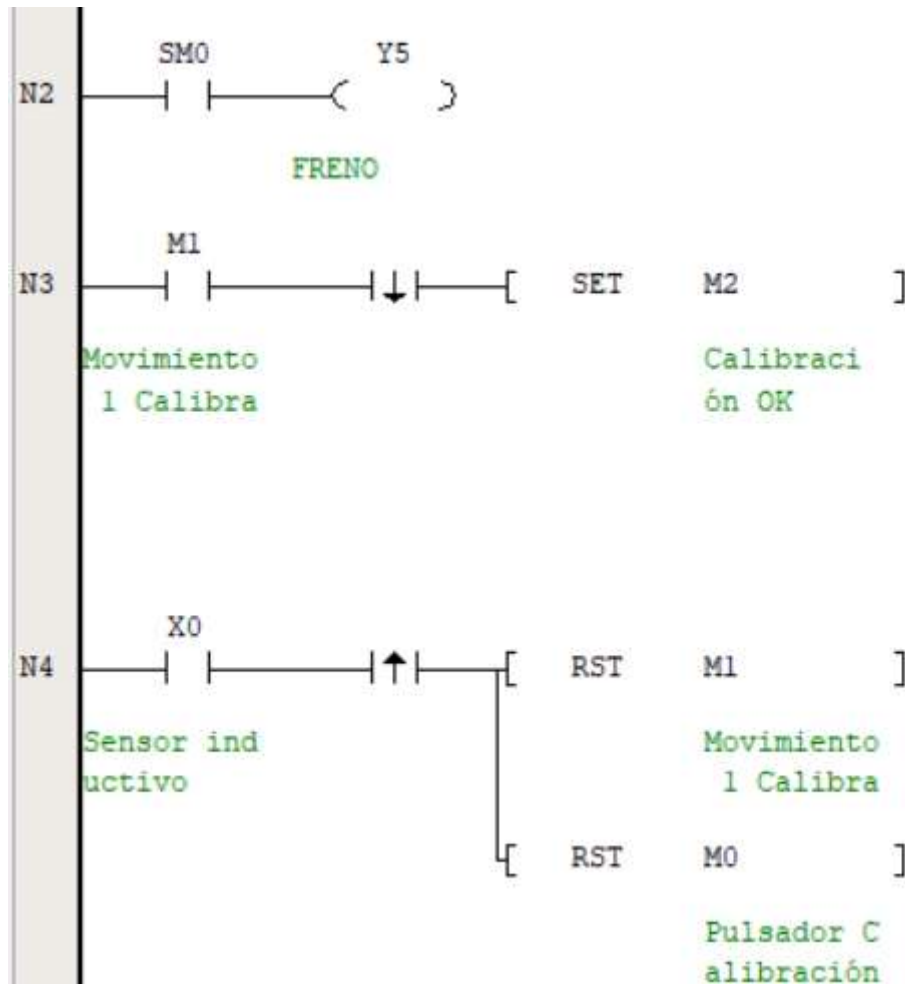


Nota. Programación de la calibración del servomotor para el inicio del bobinado en el software Auto Station.

La marca M0 corresponde a la marcha de la calibración y la marca M1 corresponden al paro de la calibración, se lo coloca en caso de que el administrador crea necesario detener la calibración. Además, se ha configurado con la marca M2 que en pantalla se visualice un mensaje del estado de la calibración, cuando el estado de M2 es “off” se visualiza en pantalla el mensaje de “Eje sin calibrar” y cuando está en “on” se visualiza el mensaje de “Eje calibrado”. En la Figura 22 se puede observar la segunda parte de la programación de la calibración.

Figura 22

Segunda parte de la calibración del servomotor



Nota. Programación calibración del servomotor. SM0 es un bit de monitorización, este bit siempre está alto en RUN y 0 en STOP.

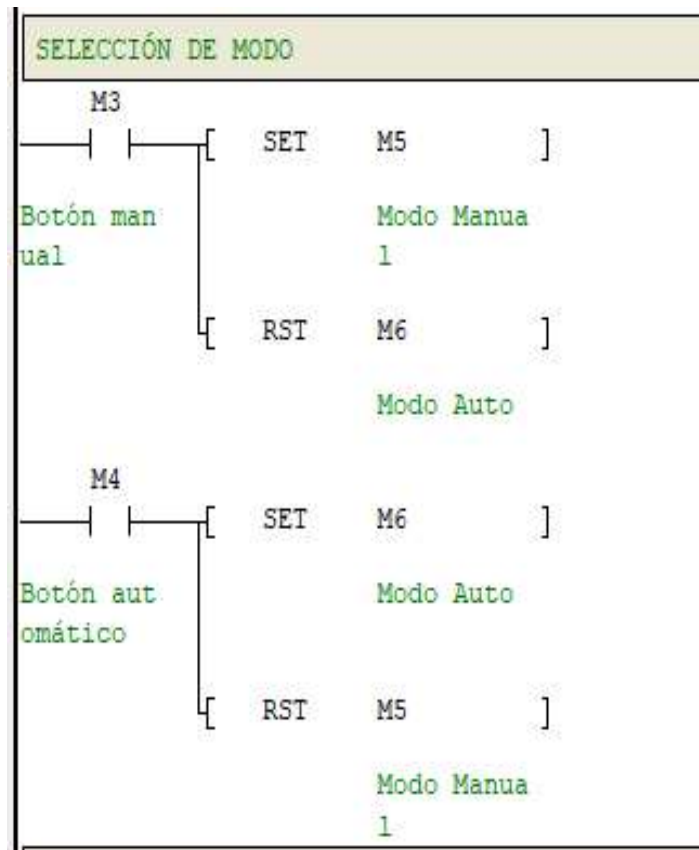
Network 2: Selección de modo manual o automático

Se estableció la selección de modo, es decir si es manual o automático. La marca M3 es el botón de configuración manual y este activa la marca M5 el cual es un texto que se visualiza en el HMI, cuando el modo manual está en “on” indica en el HMI el mensaje de “Modo manual activado” y cuando está en “off” se indica en pantalla “Modo manual desactivado”.

La marca M4 es el botón de configuración automático y este activa la marca M6 el cual es un texto que se visualiza en el HMI, cuando el modo automático está en “on”, indica en el HMI el mensaje de “Modo automático activado” y cuando está en “off” se indica en pantalla “Modo automático desactivado”. Se colocan bloqueos para que no se puedan activar al mismo tiempo ambos modos. En la Figura 23 se puede visualizar la programación de la selección del modo manual o automático.

Figura 23

Programación para la selección de modo manual o automático



Nota. Programación de selección de modo, se establecen bloqueos con las funciones SET y RESET de modo manual y automático para que no se activen al mismo tiempo.

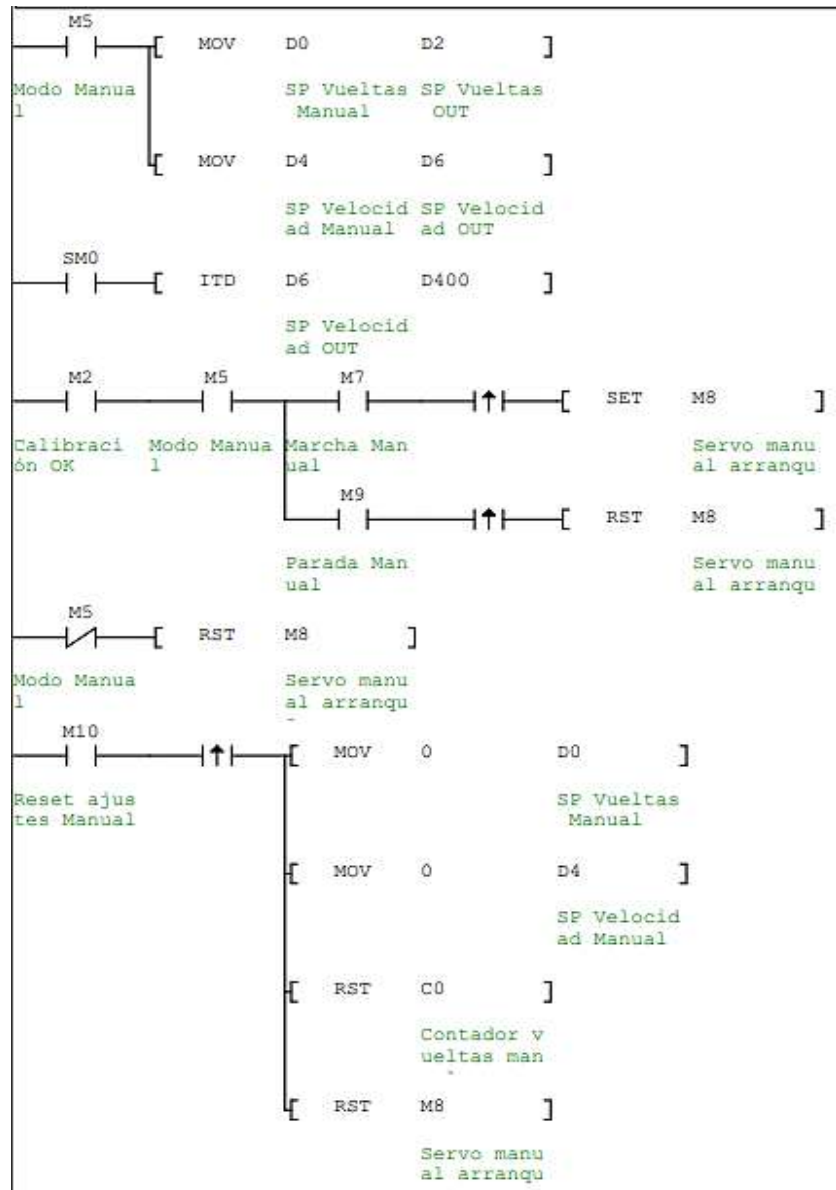
Network 3: Programación modo manual

En la programación del modo manual, M7 corresponde al botón de marcha manual y M9 al botón de paro manual en el HMI, con el botón de la marcha se activa la marca M8 el cual es el arranque del servomotor. D0 y D4 corresponden respectivamente al ingreso de número de vueltas y velocidad de operación por parte de un administrador.

M10 corresponde al botón de reset. En la Figura 24 se visualiza la programación del modo manual.

Figura 24

Programación del modo manual



Nota. Programación del modo manual en el software Auto Station.

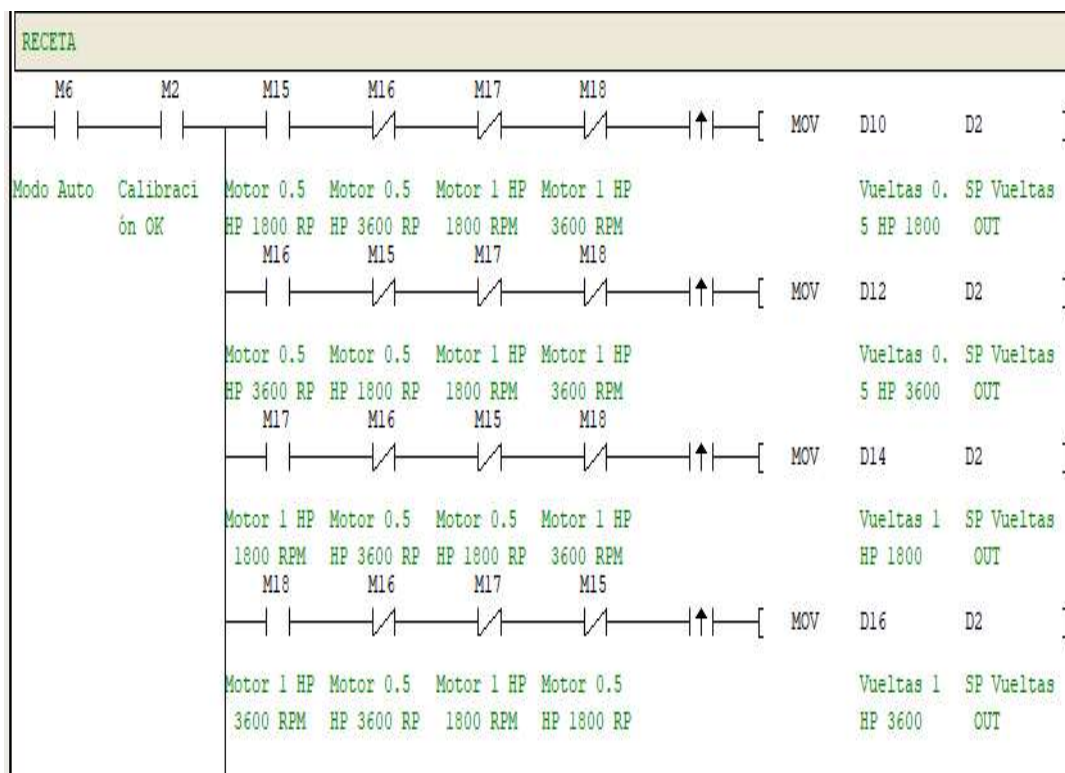
Network 3: Receta

Se establece la programación por medio de recetas de cuatro tipos de motores, el cual se selecciona desde el modo automático. Se establece el número de vueltas, M15 corresponde al motor de 0.5HP 1800RPM, M16 al motor de 0.5HP 3600RPM, M17 al

motor de 1HP 1800RPM y M18 al motor de 1HP 3600RPM. Se colocan variables de registro en el que se guarda el número de vueltas por cada motor y por medio de la función MOV se realiza el movimiento de esa variable a otra en este caso se hace la transferencia de datos a la variable D2, está es la velocidad de salida, la cual se multiplica luego por 30.000 para realizar el tren de pulso. En la Figura 25 se puede visualizar la primera parte de la programación de las recetas de motores con respecto al número de vueltas

Figura 25

Programación de las recetas de la selección de los motores



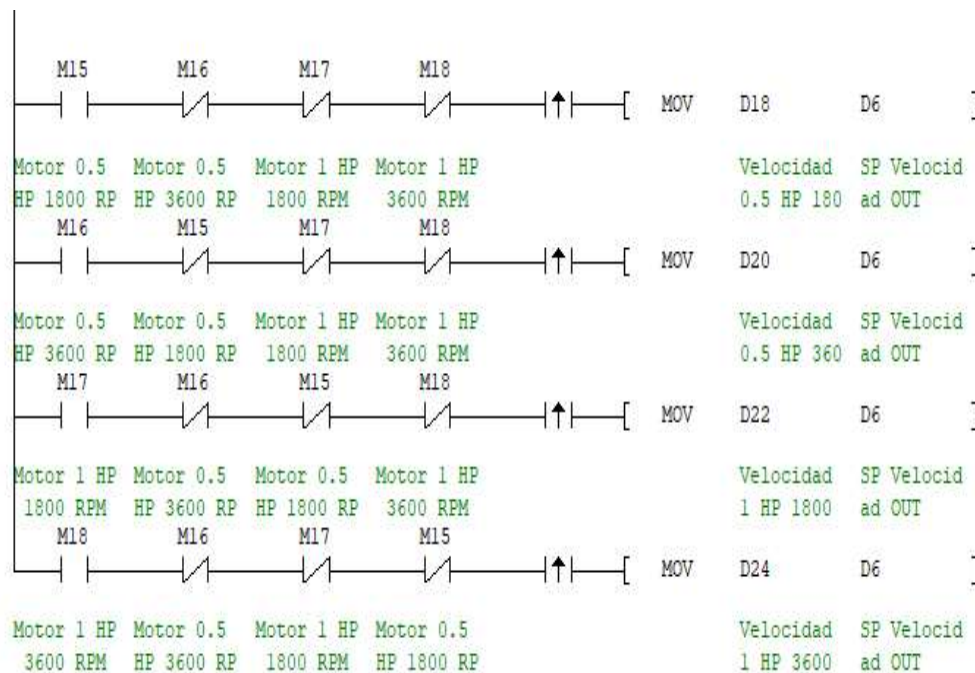
Nota. Programación del número de vueltas por cada tipo de motor, se establece un bloqueo entre los motores.

La velocidad de cada motor se guarda en variables de registro de datos y luego con la función MOV se transfieren los datos a la variable D6 que corresponde a la velocidad de salida, luego se realiza una conversión de entero a doble entero y este dato se guarda en la variable D400, en la que después se realiza una operación matemática para transformar la frecuencia en RPM y así se puedan ingresar los datos de la velocidad en revoluciones por minuto y no como frecuencia. En la Figura 26 se puede

visualizar la segunda parte de la programación que se realizó para las recetas de los motores de inducción que corresponde a la velocidad de operación del devanado dependiendo del tipo de motor que se seleccione.

Figura 26

Programación de las recetas de la selección de los motores



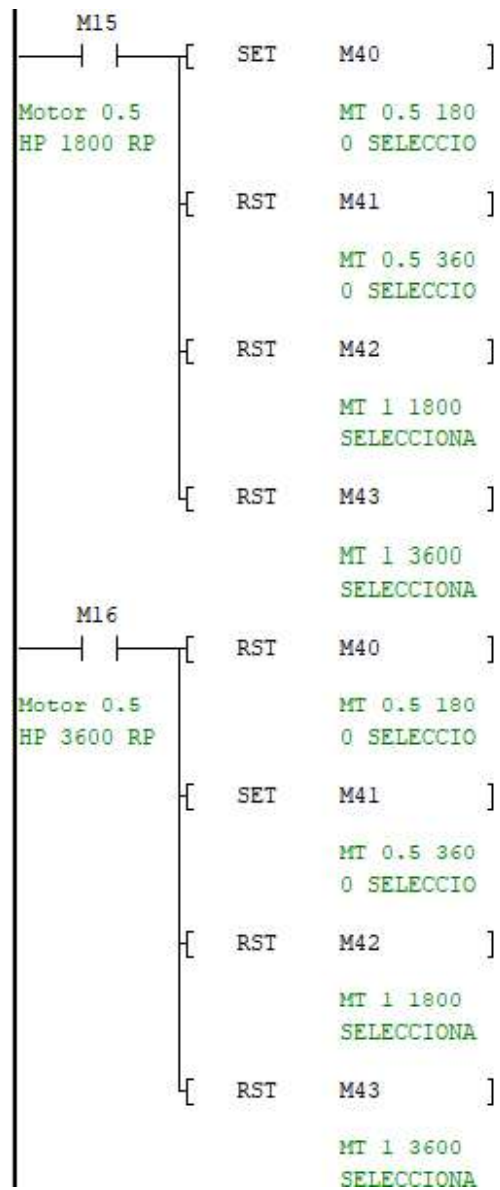
Nota. Programación de la velocidad de operación del devanado, se establece un bloqueo entre los motores.

A continuación, se realiza la programación de los textos que se pueden visualizar en la pantalla HMI al momento de seleccionar el tipo de motor, por ejemplo, en caso de seleccionar el motor de 0.5HP 1800RPM que corresponde a la marca M15, se activará la marca M40 por la función SET, el cual indicará un texto por pantalla “Motor 0.5 HP 1800 RPM seleccionado”.

Con la función RST se restablecerán las otras marcas que corresponden a los textos de selección de los otros tipos de motores. En la Figura 27 se puede observar la programación para dos tipos de motores M15 y M16 que representan a los motores de 0.5HP 1800RPM y 0.5HP 3600RPM respectivamente.

Figura 27

Programación de los textos de selección de motor M15 y M16

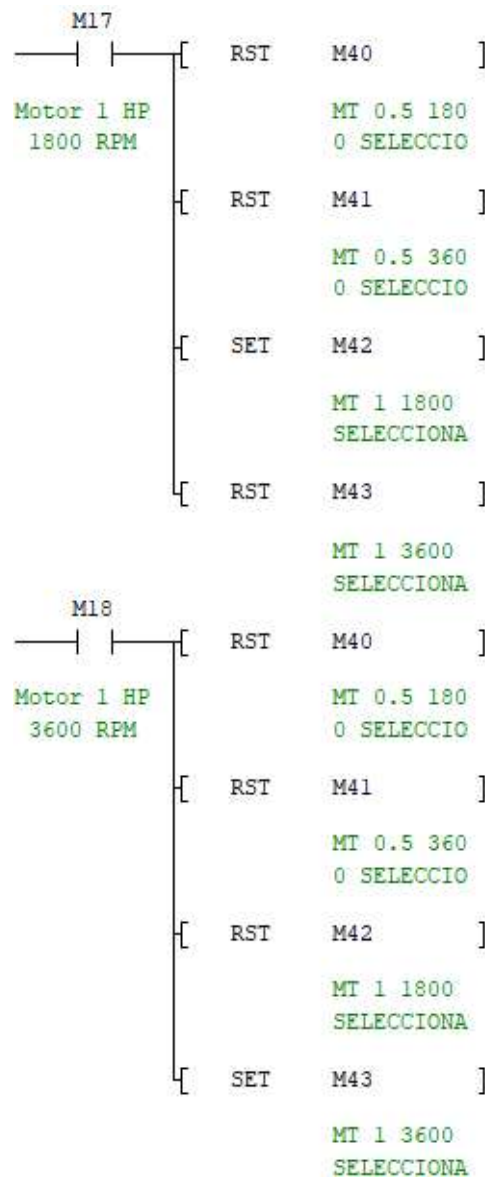


Nota. Programación de texto de las marcas M15 y M16 que corresponden a los motores de 0.5HP 1800 y 0.5HP 3600RPM cuando se selecciona el tipo de motor.

En la Figura 28 se observa la programación para dos tipos de motores M17 y M18 que representan a los motores de 1HP1800RPM y 1HP 3600RPM respectivamente. esto corresponde a la visualización de los textos en la pantalla HMI cuando es seleccionado el tipo de motor.

Figura 28

Programación de los textos de selección de motor M17 y M18



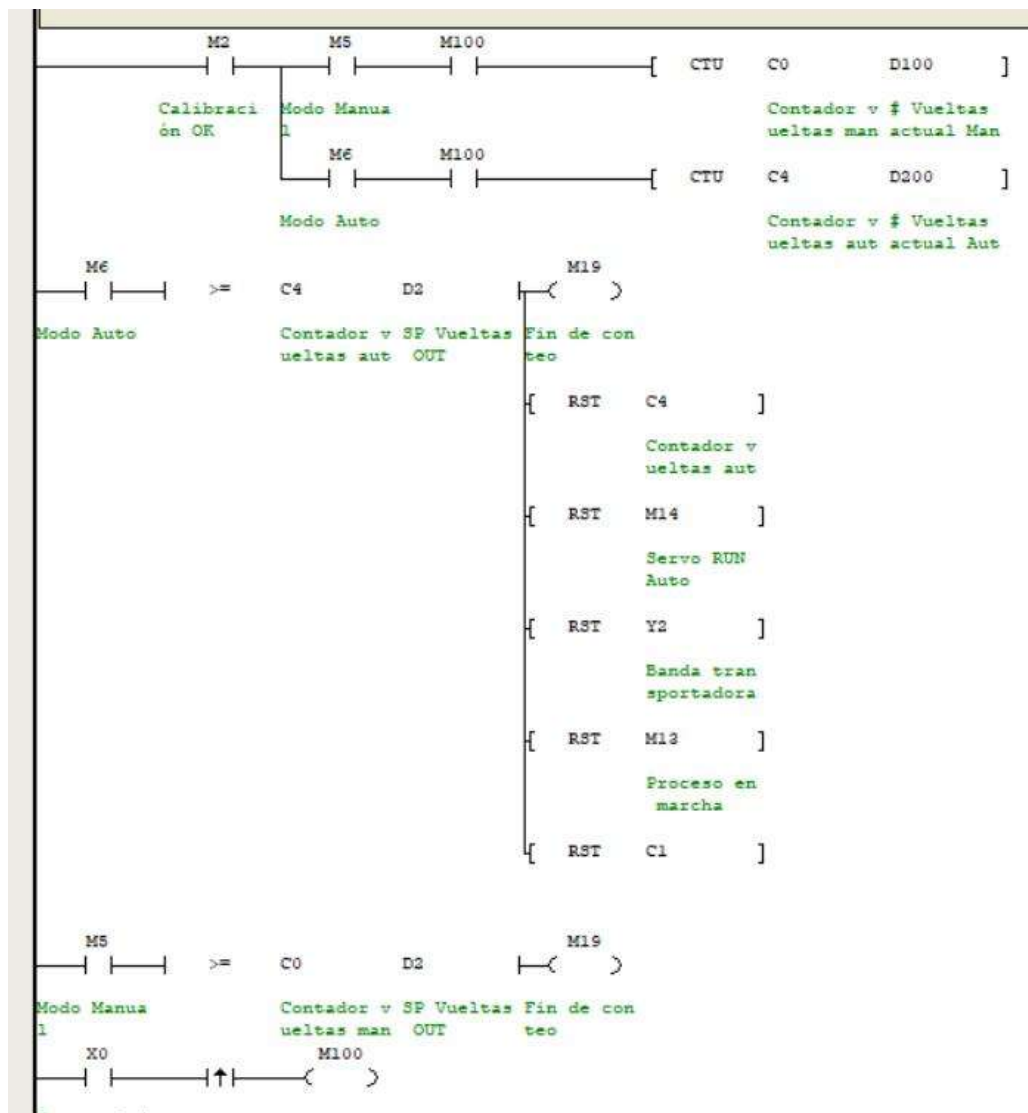
Nota. Programación de texto de las marcas M17 y M18 que corresponden a los motores de 1HP 1800 y 1HP 3600RPM cuando se selecciona el tipo de motor, se utilizaron funciones set y reset.

Network 4: Contador de vueltas

El contador de vueltas se lo realiza a través de un sensor inductivo el cual tiene la entrada de X0, este incrementa el valor del contador ascendente C0, el cual corresponde al contador de vueltas en modo manual, C4 corresponde al contador de vueltas en modo automático; al compararla con D2 que es el número de vueltas preestablecido, al llegar a su Setpoint, se activa la marca M19 el cual es el fin del conteo, en la Figura 29 se observa la programación del contador.

Figura 29

Programación del contador de vueltas



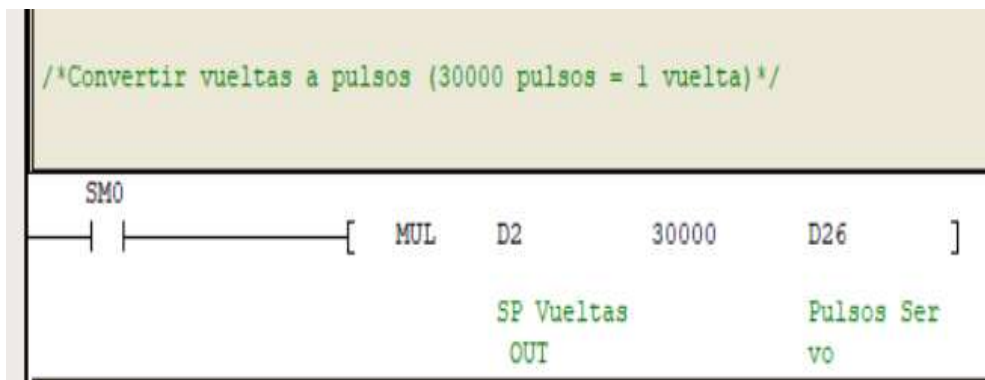
Nota. La entrada digital X0 corresponde al sensor inductivo, la marca M19 corresponde al fin del conteo.

Network 5: Conversión de número de vueltas a pulsos

En los parámetros del servodrive, se establece que 30.000 pulsos es igual a 1 vuelta en el eje del servo, por esa razón se realiza la programación de la conversión del número de vueltas a pulsos ya que el servomotor se está activando a través de un tren de pulsos, para ello se realiza una multiplicación, D2 es el setpoint del número de vueltas y D26 son los pulsos que se envían al tren de pulsos. En la Figura 30 se puede observar la programación de la conversión de vueltas a pulsos

Figura 30

Programación de la conversión del número de vueltas a pulsos



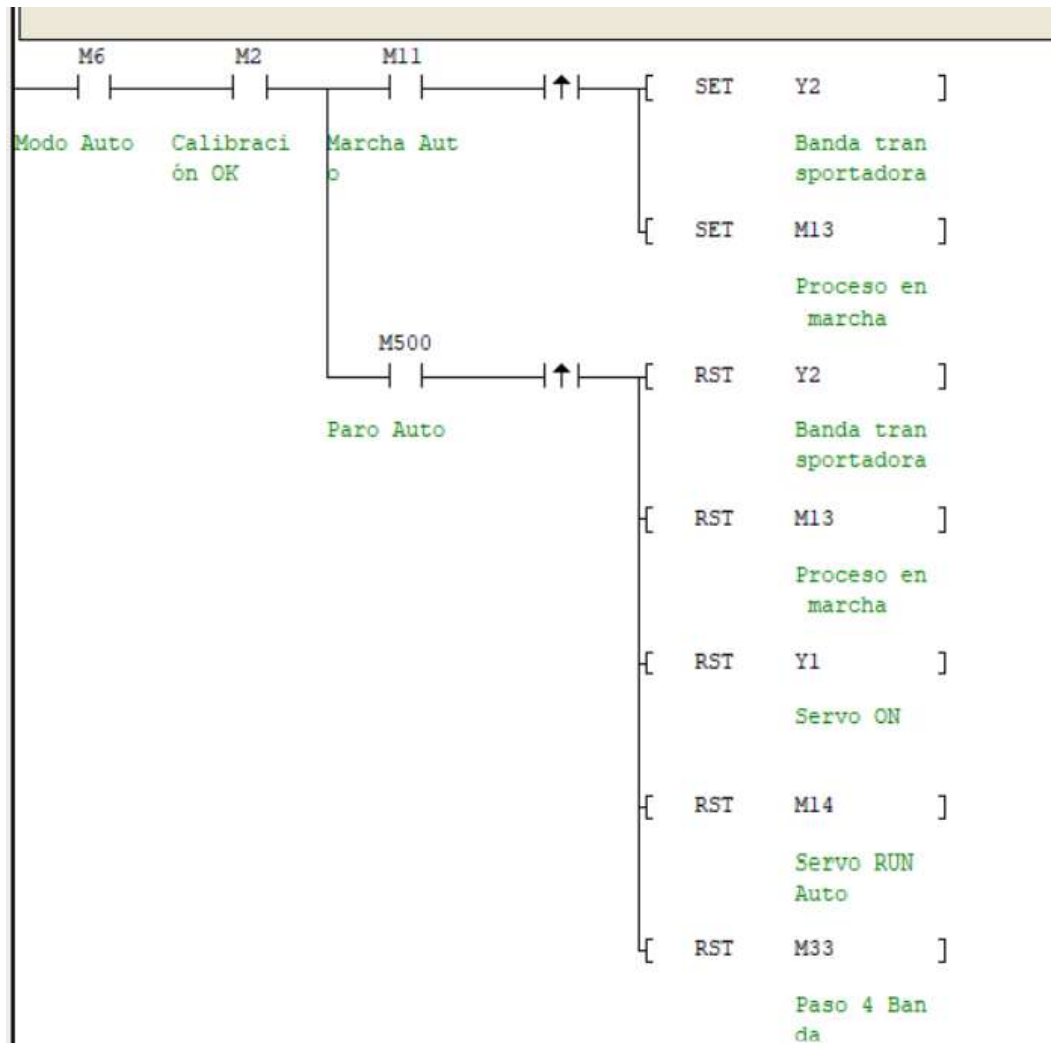
Nota. Multiplicación del número de vueltas D2 con el número entero 30.000 para que pueda ser establecido en D26 que son los pulsos del servo.

Network 6: Programación modo automático

Se establece el botón de marcha y botón de paro del modo automático con las marcas M11 y M500 respectivamente, va a activar M13 el cual es un texto que se visualiza en el HMI que indica “Banda en movimiento”, esta marca está en paralelo a una salida digital Y2 que corresponde al control del movimiento de la banda a través de un variador de frecuencia y un motor de inducción, cabe recalcar que solamente se puede dar inicio al modo automático una vez que se complete la etapa de calibración y se seleccione el modo automático, por esa razón se encuentra los permisivos de la marca M2 y M6. En esta network se realiza el proceso de forma general. En la Figura 31 se puede observar la programación del proceso del modo automático.

Figura 31

Programación del modo automático

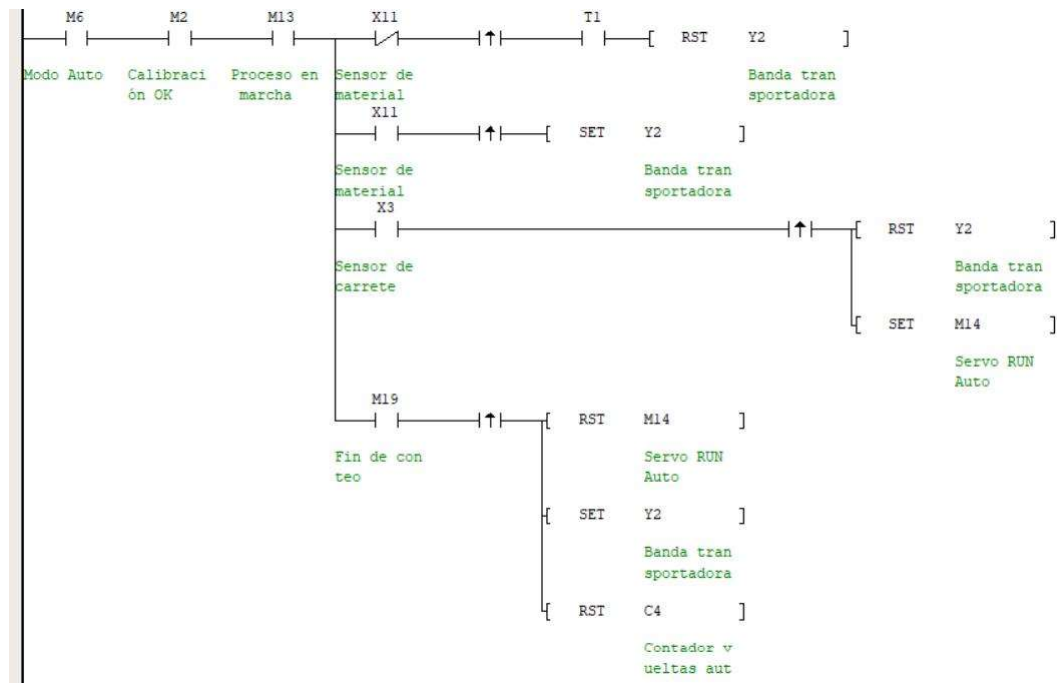


Nota. Programación del modo automático en el software Auto Station.

A continuación, se colocó la entrada X11 la cual está configurada como un selector que simula un sensor que detecta el paso del material. Una vez que se detecta el material, el siguiente paso es el devanado, el cual tiene como actuador un servomotor, la marca M19 es el fin del conteo, una vez llegado al setpoint, reinicia la marca M14 el cual es la marcha del servo y el contador de vueltas C4. En la Figura 32 se puede observar la programación del proceso automático.

Figura 32

Programación del modo automático



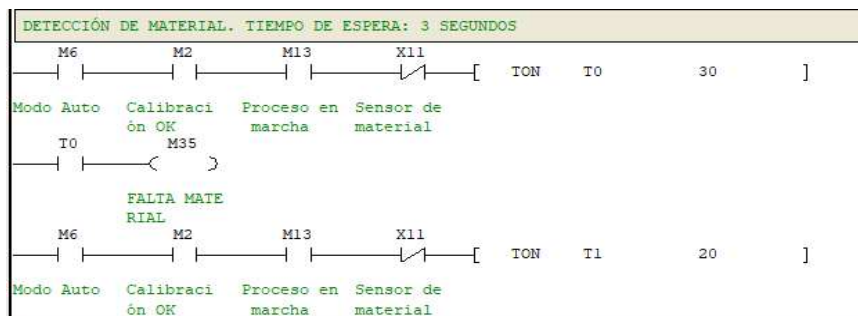
Nota. Programación del proceso automático, Y2 corresponde a una salida digital el cual se encuentra físicamente conectado a un variador de frecuencia.

Network 7: Detección de material

En la programación de la detección del material, se estableció un tiempo de espera de 3 segundos en T0, en caso de que no se detecte material, se activará la marca M35, el cual es un texto que indica “No hay material” como una alarma en el HMI. En la Figura 33 se puede visualizar la programación.

Figura 33

Programación de la detección de material



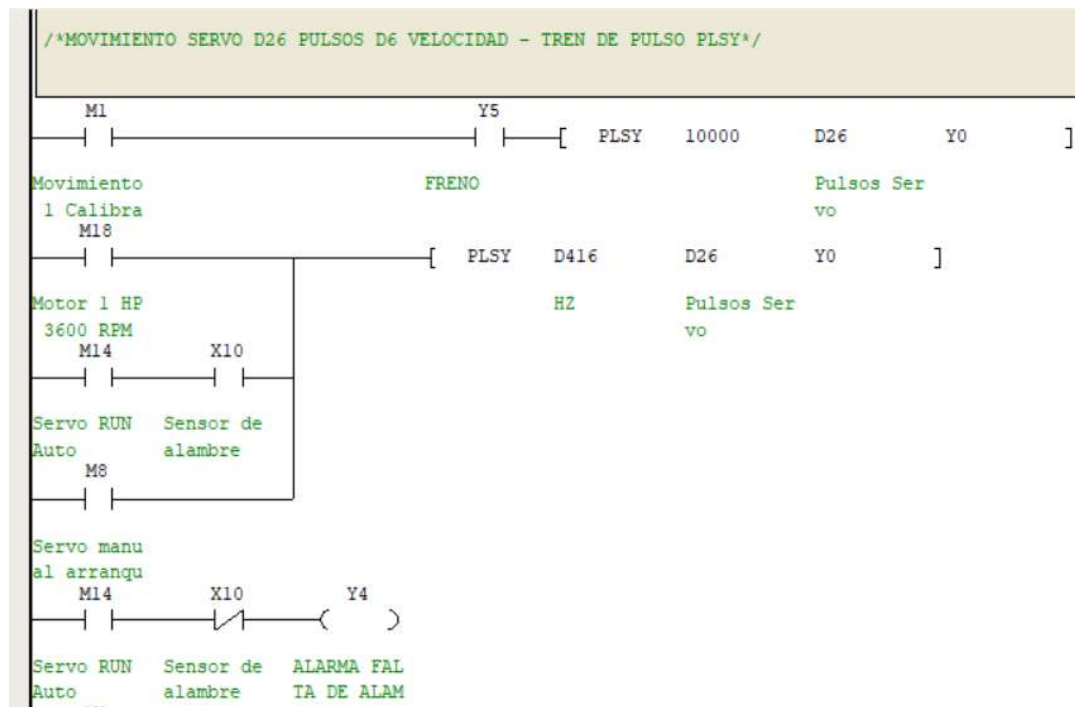
Nota. T0 es el tiempo de espera para establecer la alarma de falta de material.

Network 8: Movimiento de servomotor por tren de pulso

El tren de pulso acciona el servomotor, cada pulso que es enviado equivale a un incremento en el movimiento del eje de salida del servomotor. La salida digital Y0 representa la salida del tren de pulsos, la salida digital Y5 corresponde al freno del servomotor. Se configuraron dos trenes de pulsos, uno para la calibración ya que se estableció una velocidad fija, y el segundo corresponde al movimiento del servomotor en las demás etapas. En la Figura 34 se muestra la programación del tren de pulsos para poder accionar el servomotor.

Figura 34

Programación del movimiento del servo por tren de pulso

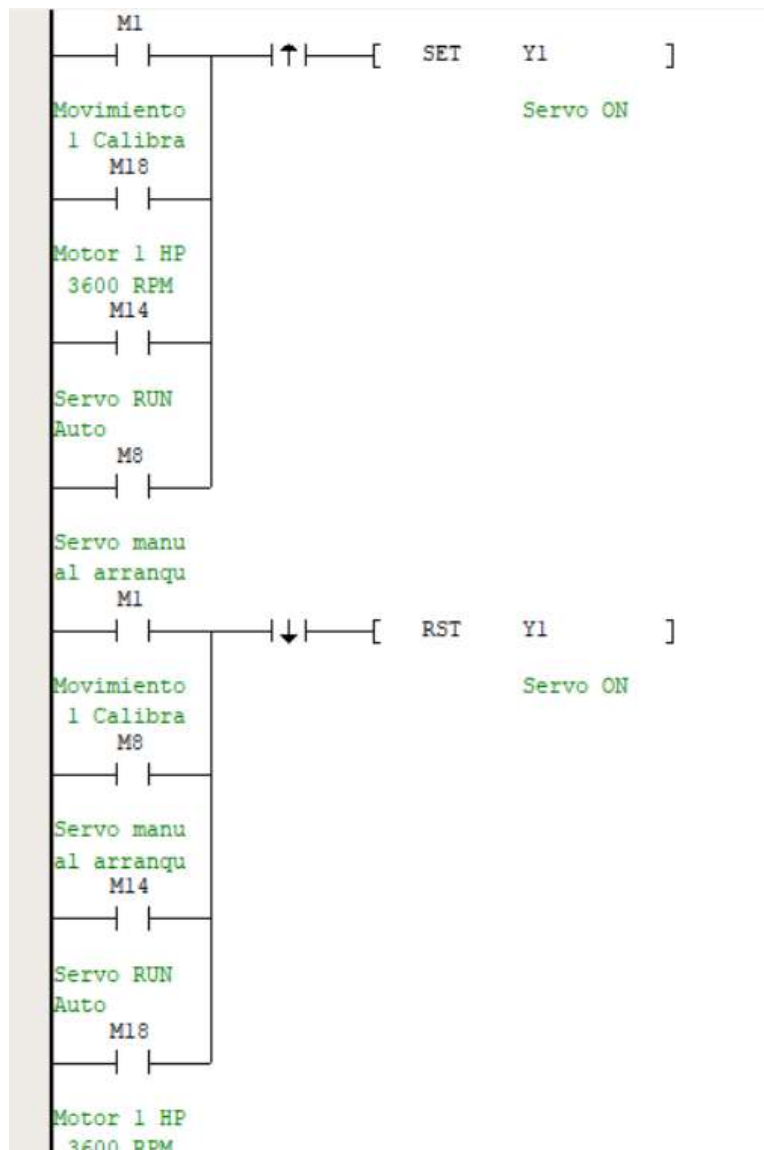


Nota. Programación del tren de pulso en el software Auto Station.

El comando de PLSY se refiere a la instrucción de salida de pulso de alta velocidad que se configura en el tren de pulsos, la salida digital Y4 hace referencia a la falta de alambre el cual se encenderá un foco led rojo. En la Figura 35 se observa la programación del movimiento del servo.

Figura 35

Programación del movimiento del servo por tren de pulso



Nota. Programación del movimiento del servo.

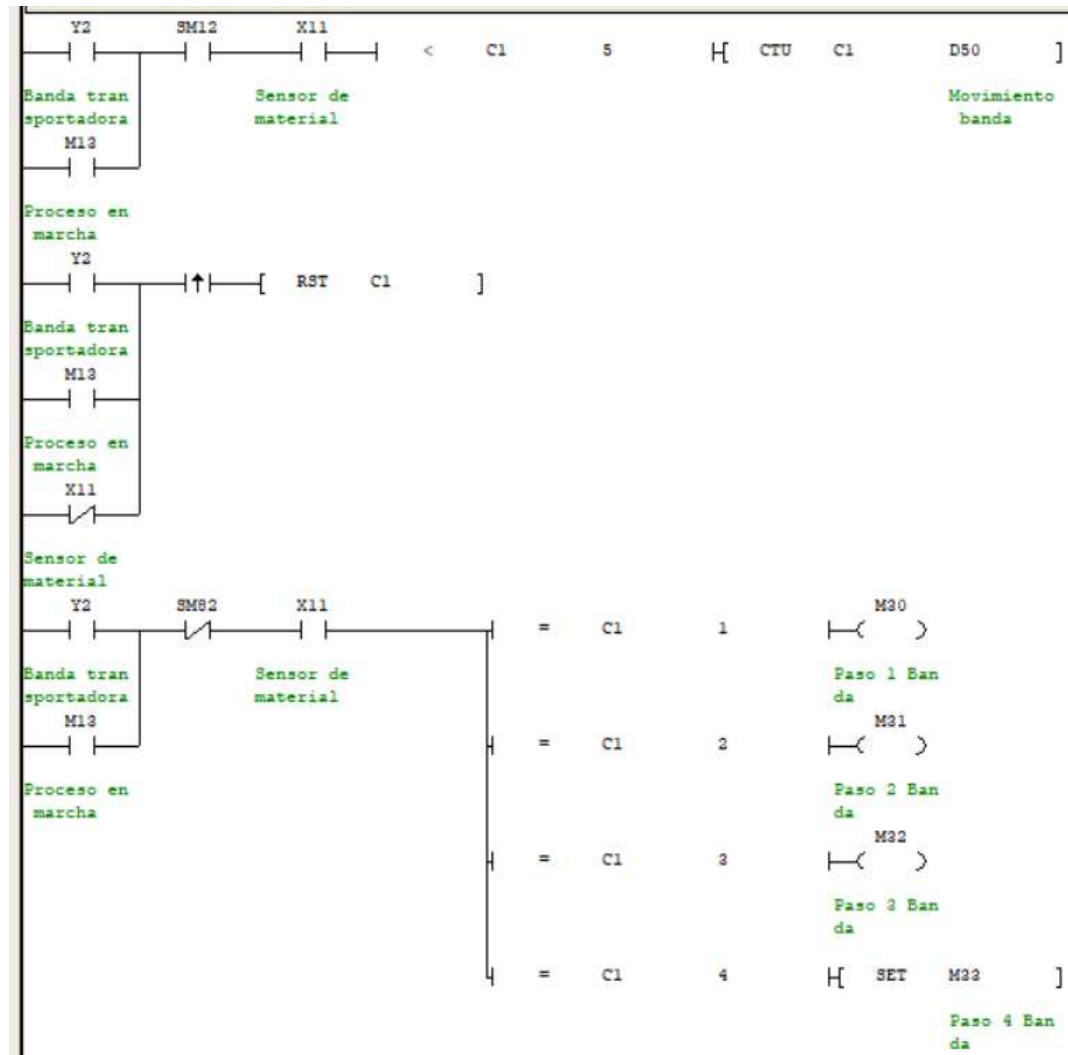
Network 9: Animación de banda transportadora

Para la animación de la banda transportadora, se establece en la variable especial SM12, la cual es una oscilación en un ciclo de un segundo de reloj, también se utilizó la variable especial SM82 que monitorea la salida del pulso, este bit es activado cuando la salida Y0 está activa. Las marcas M30, M31, M32 y M33 representan el paso del

material por la banda transportadora. En la Figura 36 se puede observar la programación.

Figura 36

Programación de la animación de la banda transportadora



Nota. Las marcas M30, M31, M32 y M33 son activadas por D50 que simula el movimiento de la banda.

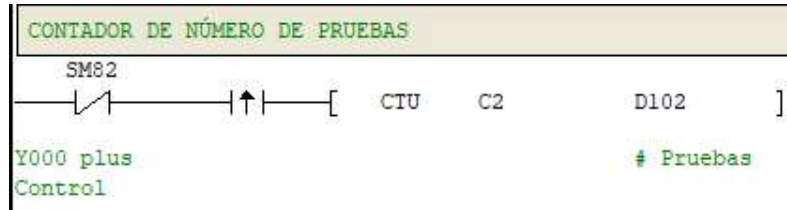
Network 10: Contador de número de pruebas

En la programación del contador de número de pruebas totales en el modo automático, se establece un contador ascendente C2 donde guarda la información en la variable D102 del número de pruebas que se realizan del proceso automático, esto se

representa en la etapa del devanado en el HMI. En la Figura 37 se puede observar la programación.

Figura 37

Programación del contador del número de pruebas



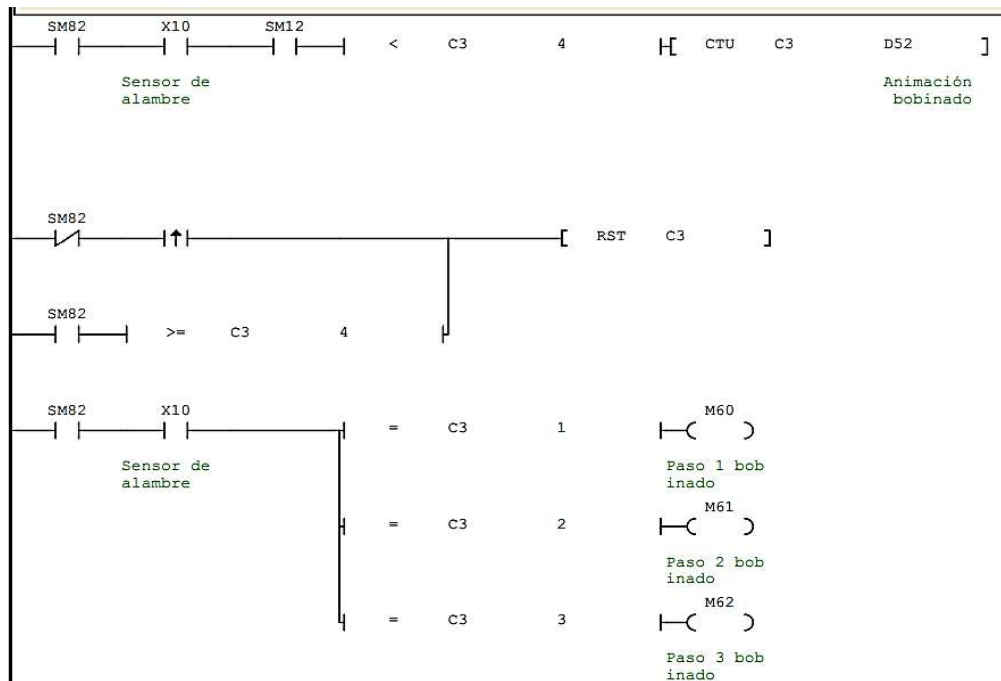
Nota. Variable D102 es configurada para visualizar en el HMI el número de pruebas totales que se realiza en el programa de modo automático.

Network 11: Animación del devanado

La animación del devanado está establecida por SM82 que monitorea la salida del pulso y por un contador ascendente C3 se realiza la animación con las marcas M60, M61, M62 el cual es el paso del devanado. En la Figura 38 se observa la programación.

Figura 38

Programación de la animación del devanado



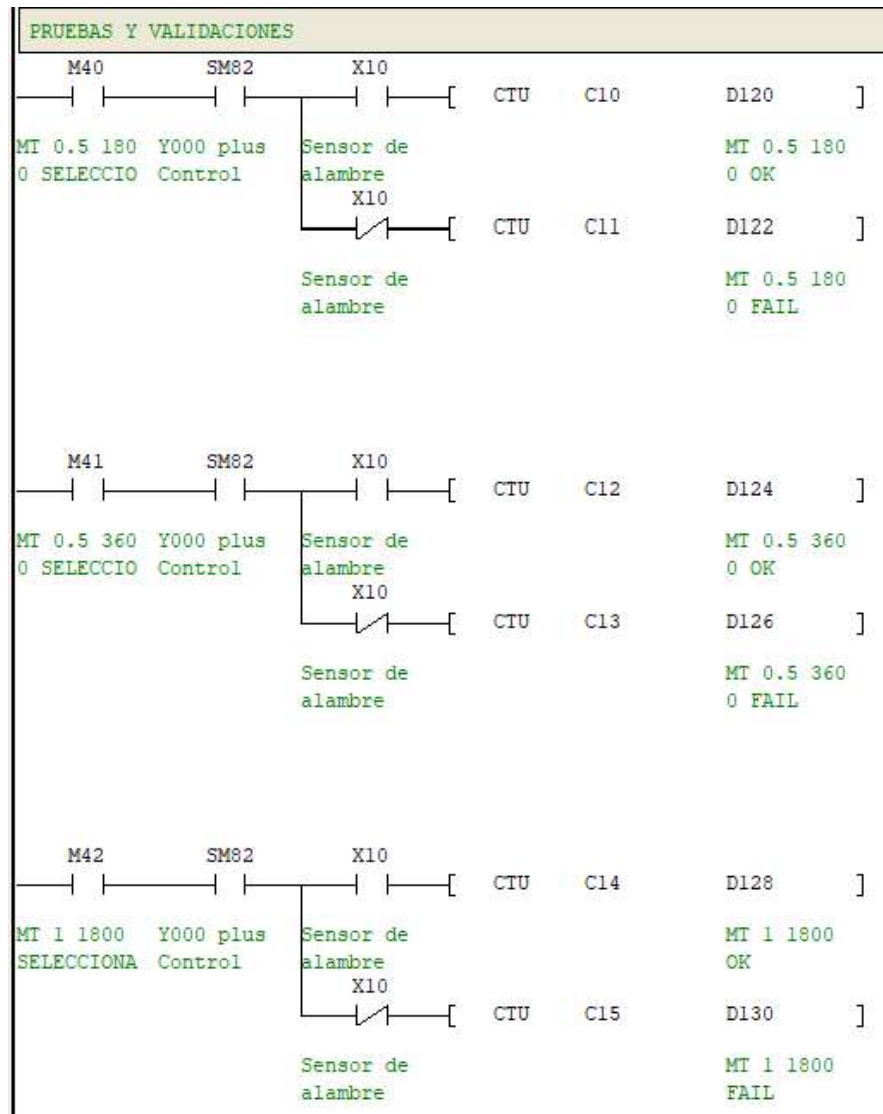
Nota. Animación del devanado por marcas M60, M61, M62.

Network 12: Validaciones

Se realiza la programación de las validaciones, en donde se visualizará a través del HMI, una tabla que contiene todas las pruebas que se han realizado por tipo de motor y si existió la rotura de alambre. La marca M40 corresponde al motor de 0.5HP 1800RPM, M41 al motor de 0.5HP 3600RPM, M42 al motor de 1HP 1800RPM y M43 al motor de 1HP 3600RPM. En la Figura 39 se puede observar la programación

Figura 39

Programación de las validaciones

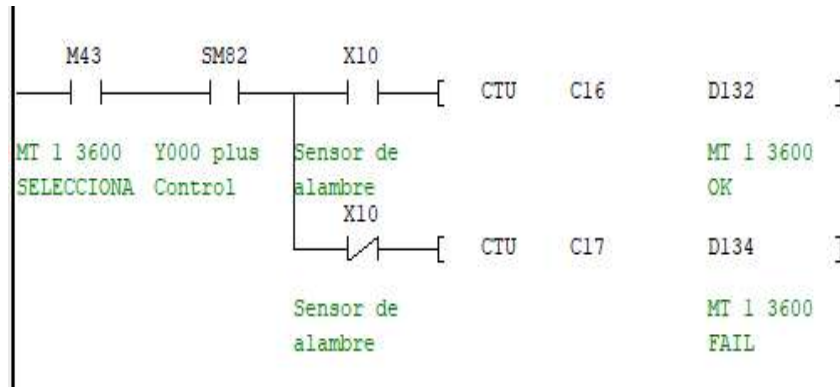


Nota. Programación de las pruebas realizadas para los motores de 0.5HP 1800RPM, 0.5HP 3600RPM y 1HP 1800RPM.

Las variables D120, D124, D128, D132 hacen referencia a los procesos completos y las variables D122, D126, D130 y D134 hacen referencia a los procesos en donde existió la falla de la rotura o falta de alambre. En la Figura 40 se observa la programación.

Figura 40

Programación de las validaciones

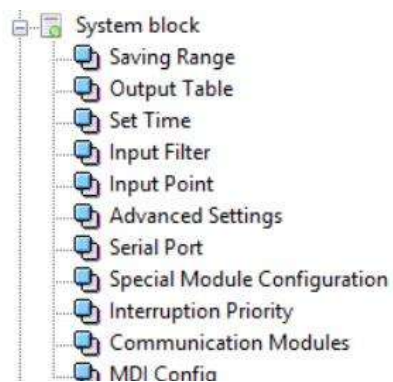


Nota. Se establecen contadores en la programación de las validaciones, se visualiza la programación para el motor de 1HP 3600RPM.

Al momento de finalizar la programación y antes de cargarla al PLC, para subir correctamente la información, se debe dirigir al árbol de proyectos y luego desplegar las opciones del System Block y se elige Serial Port para configurar el protocolo de comunicación del PLC, tal como se observa en la Figura 41.

Figura 41

Configuración del protocolo de comunicación

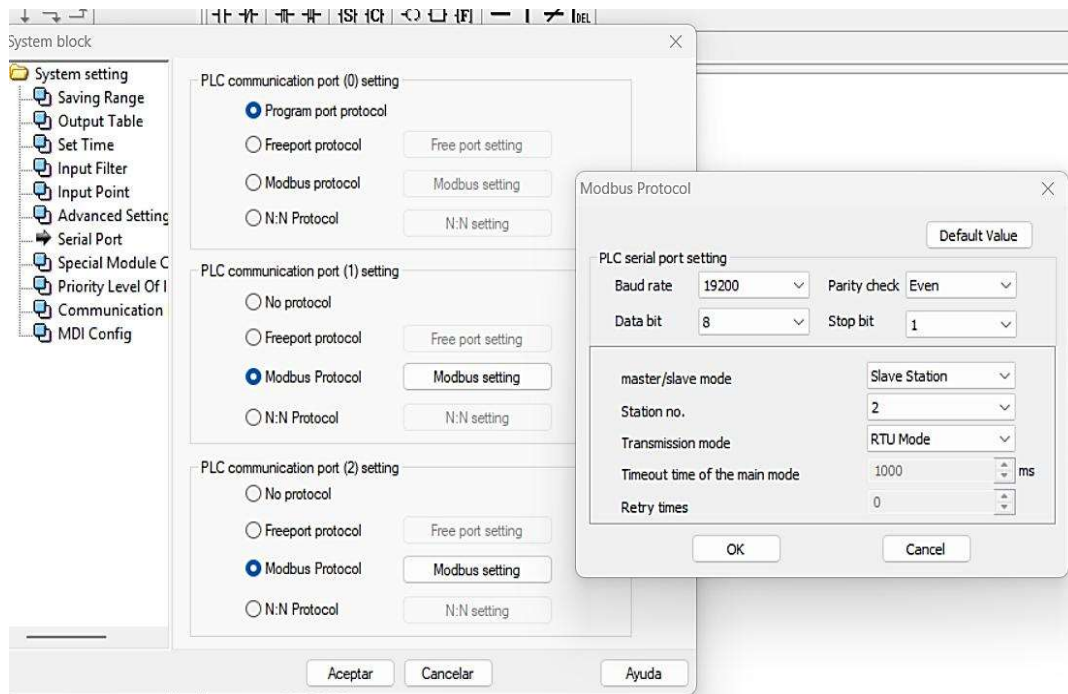


Nota. Dentro de la opción Serial Port se puede configurar el protocolo de comunicación

Una vez seleccionado Serial Port se eligió el protocolo Modbus para la comunicación del PLC, este protocolo trabaja con una arquitectura maestro esclavo, en este caso el maestro del sistema es el HMI y el dispositivo esclavo es el PLC, este modo se configura una vez elegido el protocolo de comunicación, como se observa en la Figura 42.

Figura 42

Protocolo de comunicación y modo de trabajo del PLC

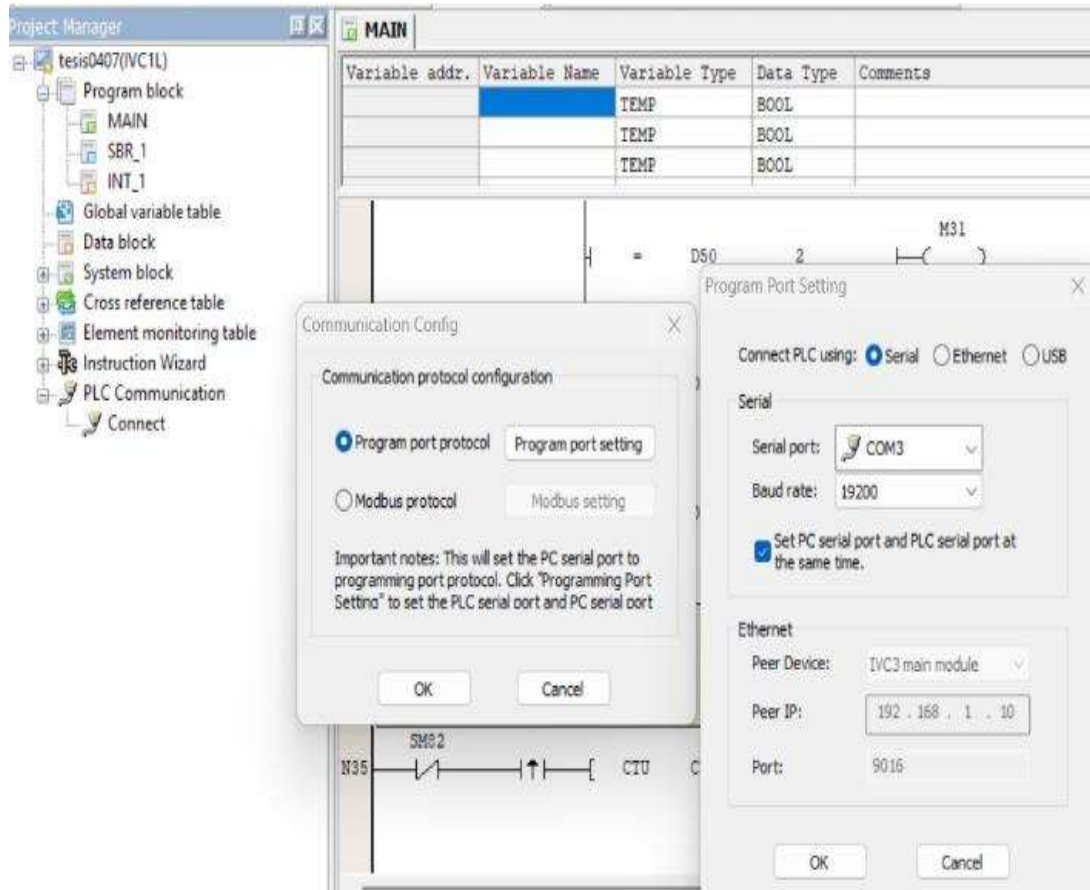


Nota. Para este sistema el PLC trabajará como modo esclavo, recibiendo órdenes del HMI.

Una vez establecido el protocolo de comunicación, se procedió a elegir el puerto de comunicación para cargar la programación al PLC, para ello se selecciona PLC Communication y la opción connect, esto se encuentra en el árbol de proyectos, en la pantalla que se muestra, se elige la opción Program port protocol y se da clic en Program port setting, aquí se seleccionó la opción Serial y se muestra el puerto al que está conectado, en este caso es el COM3, en la Figura 43 se observa los pasos para establecer el puerto de comunicación.

Figura 43

Configuración del puerto de comunicación



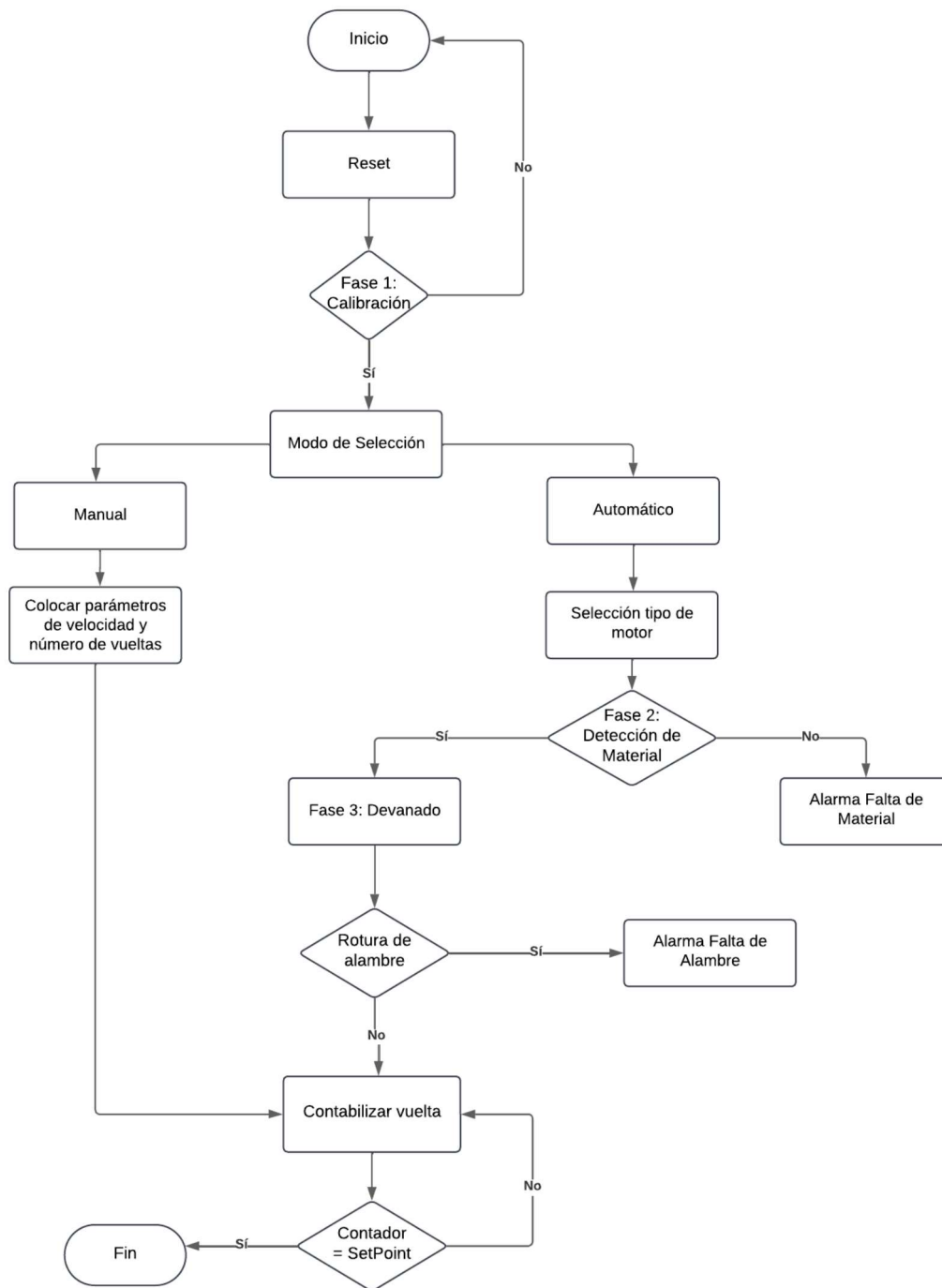
Nota. Selección del protocolo de comunicación serial para el puerto.

5.3.3 Etapa 3: Diseño de la interfaz HMI

En la interfaz HMI se definieron las fases del bobinado automático previamente mencionadas en la descripción del proyecto, y se diseñó la simulación de cada una de ellas, en esta etapa se establecieron los botones, mensajes de advertencia y bloqueos de botones según sea necesario. En la Figura 44 se muestra el diagrama de flujo del proceso de bobinado.

Figura 44

Diagrama de flujo del proceso de bobinado automático

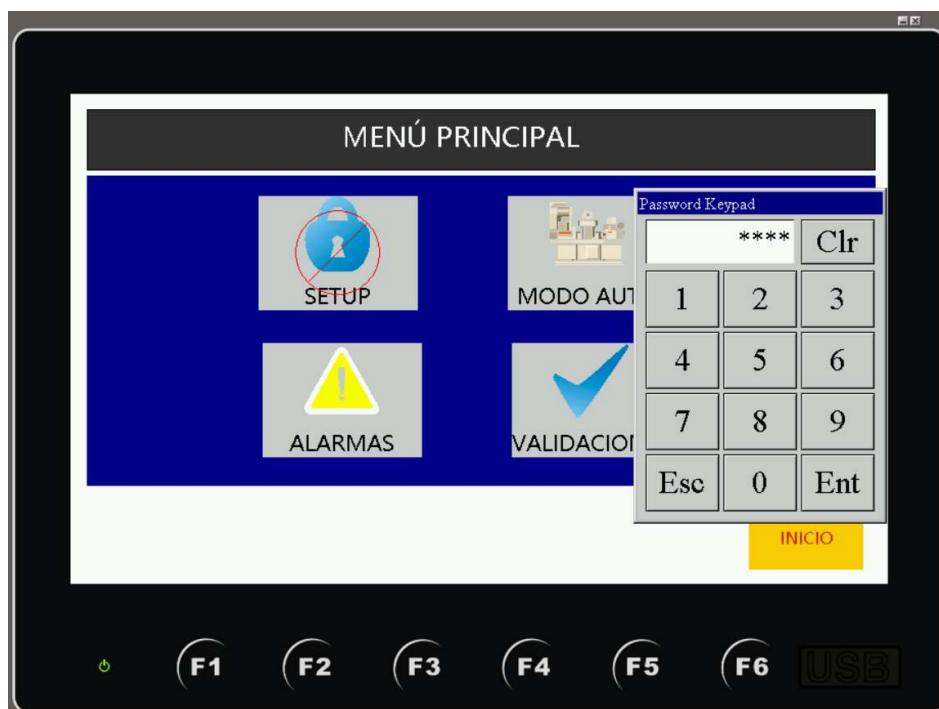


Nota. Diagrama de flujo del proceso del bobinado que se visualizará en el HMI.

En el menú principal del sistema se cuenta con cuatro botones, el SETUP dirige hacia un menú en el que solo el administrador podrá ingresar por lo cual se necesita tener la clave de ingreso, el botón Modo Auto envía a la pantalla del proceso general, el botón de Alarmas muestra una tabla en donde se detalla el día y la hora en que se activó una alarma y por último, el botón de Validaciones el cual mostrará un resumen de las pruebas que se van realizando, en la Figura 45 se puede observar el diseño del menú principal.

Figura 45

Diseño de la pantalla del menú principal



Nota. Para ingresar al menú del administrador por medio del botón SETUP se deberá colocar la contraseña 2101.

Se diseñó una pantalla en la cual se podrán observar una tabla en la cual aparecerá el día y hora en la cual se activó una alarma, existen dos ocasiones en las cuales se activará una alarma, por la falta de material y por la rotura o falta de alambre, a esta pantalla se accede por medio del botón "Alarmas", en la Figura 46 se observa la tabla de alarmas, la cual mostrará la hora, fecha y el tipo de alarma que se activó

Figura 46

Memoria de Alarmas



Date	Time	Block ID	Level ID	Status	Message

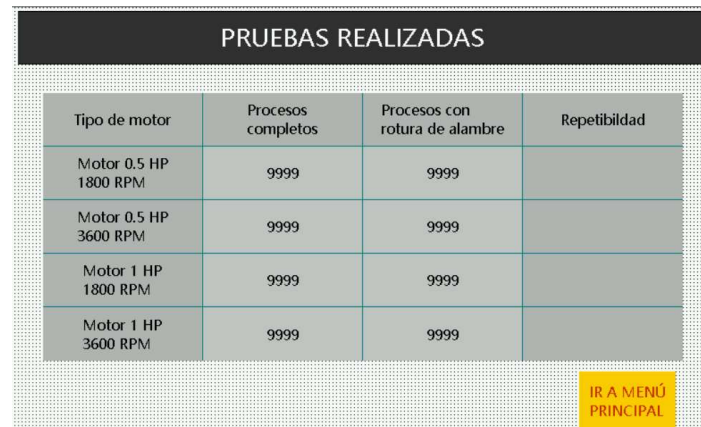
IR A MENÚ

Nota. A través del botón “Alarmas” se accede a la pantalla.

Se podrá llevar un registro de todas las pruebas realizadas, estas podrán ser visualizadas en la pantalla “Pruebas Realizadas” en la Figura 47 se puede observar la tabla en la cual se especificará el tipo de motor al que se le realizó la prueba y cuántas veces el proceso fue completado de manera exitosa y el número de pruebas en el que existió la rotura del alambre

Figura 47

Registro de pruebas realizadas



Tipo de motor	Procesos completos	Procesos con rotura de alambre	Repetibilidad
Motor 0.5 HP 1800 RPM	9999	9999	
Motor 0.5 HP 3600 RPM	9999	9999	
Motor 1 HP 1800 RPM	9999	9999	
Motor 1 HP 3600 RPM	9999	9999	

IR A MENÚ PRINCIPAL

Nota. Para acceder a esta pantalla se acciona el botón “Validaciones” ubicado en el menú principal.

En la Figura 48 se observa la pantalla del menú para el administrador, al cual solo se puede ingresar con la clave de seguridad, cuenta con tres botones, el botón Manual, el botón de calibración y el botón de recetas.

Figura 48

Menú administrador

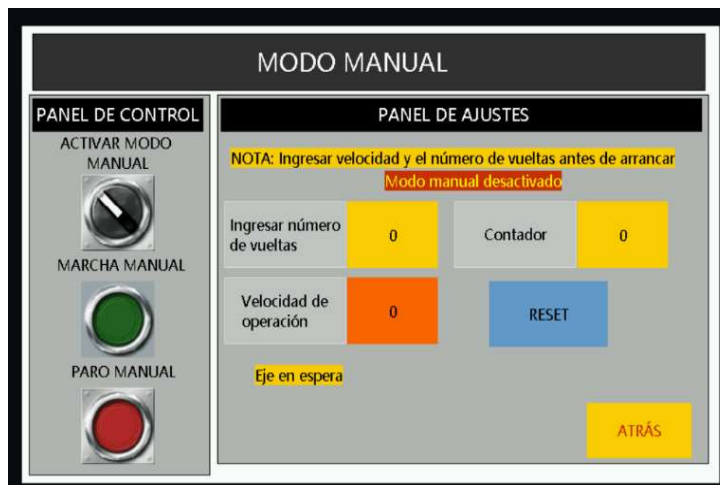


Nota. Al presionar el botón SETUP se deberá ingresar la clave de acceso, para poder dirigirse al menú administrador.

A través de botón SETUP el cual está protegido con contraseña se accede al modo manual, al necesitar clave de acceso solo el administrador podrá trabajar en el modo Manual, dentro de este modo se puede configurar tanto la velocidad de operación como el número de vueltas, se cuenta con los botones de Marcha y Paro y un selector para activar el Modo manual, también se puede visualizar el contador de vueltas reales y un botón de Reset para cuando se ingresen otros parámetros, en la Figura 49 se muestra el diseño de la pantalla.

Figura 49

Ingreso de parámetros por el usuario



Nota. Una vez ingresado los parámetros el operario podrá mandar la Marcha al proceso.

En la Figura 50 se observa la pantalla de “Recetas” la cual fue diseñada para establecer el número de vueltas y la velocidad del bobinado de los motores de 0.5HP a 1HP estos valores solo serán configurados por el administrador, por medio del botón “Recetas” se ingresa a la configuración de los parámetros, este botón fue establecido dentro del menú principal al cual se accede mediante contraseña a través del botón SETUP.

Figura 50

Parámetros del motor mediante recetas

CONFIGURACIÓN DE RECETAS	
MOTOR 0.5 HP 1800 RPM	MOTOR 1 HP 1800 RPM
# DE VUELTAS 0	# DE VUELTAS 0
VELOCIDAD 0	VELOCIDAD 0
MOTOR 0.5 HP 3600 RPM	MOTOR 1 HP 3600 RPM
# DE VUELTAS 0	# DE VUELTAS 0
VELOCIDAD 0	VELOCIDAD 0
ATRÁS	

Nota. Los parámetros de cada motor fueron guardados mediante recetas, los cuales pueden ser visualizados y editados solo por el administrador.

El botón de calibración dirige a la pantalla de la etapa 1, la calibración se realizará una sola vez por el administrador, por ende, el botón de calibración contará con clave este es el primer paso para continuar con el proceso de bobinado tanto en el modo manual como en el modo automático, mientras no se haya calibrado se mostrará el mensaje “Eje sin calibrar” en todas las pantallas de cada etapa del proceso, al dar inicio el eje del servomotor comienza a girar y se detiene cuando es detectado por el sensor, siendo eso su punto home, en la pantalla se visualiza un mensaje de “Eje calibrado” tanto en la pantalla de calibración como en la de las diferentes etapas, en la Figura 51 se observa la pantalla de la etapa 1.

Figura 51

Etapa 1: Calibración



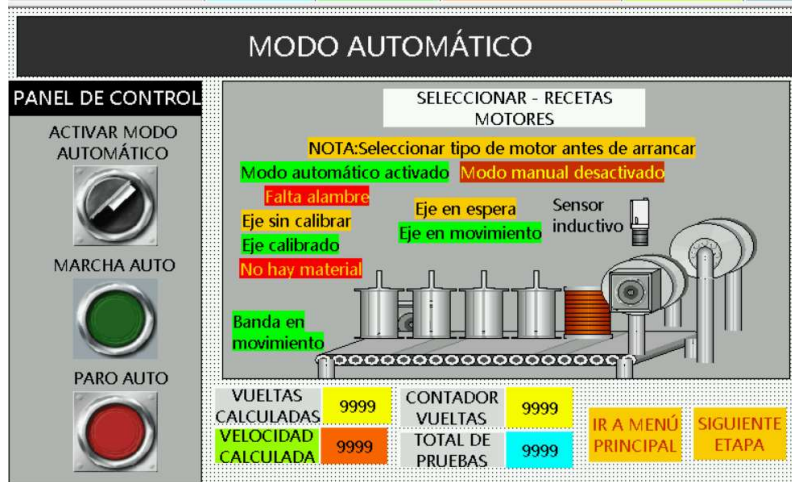
Nota. La etapa de calibración solo es realizada una vez en todo el proceso, aunque la pantalla es visible para el usuario al no ingresar la clave no podrá realizar la calibración.

En la pantalla del modo automático se cuenta con el panel de control que es donde están colocados los botones de marcha y paro y el selector para activar el modo automático, también cuenta con el botón “Seleccionar-Recetas motores” el cual envía al menú de los motores previamente configurados por recetas, en esta pantalla se van a visualizar el número de vueltas calculadas para cada motor, el contador de vueltas reales y la velocidad de operación.

En esta pantalla también se muestran otros mensajes informativos como: “Eje en espera”, “eje calibrado”, “falta alambre”, “falta material”, el mensaje “Modo manual desactivado” es de tipo informativo ya que para iniciar el proceso automático es necesario desactivar el manual primero en la Figura 52 se puede observar la distribución de la pantalla del proceso automático.

Figura 52

Pantalla del proceso automático

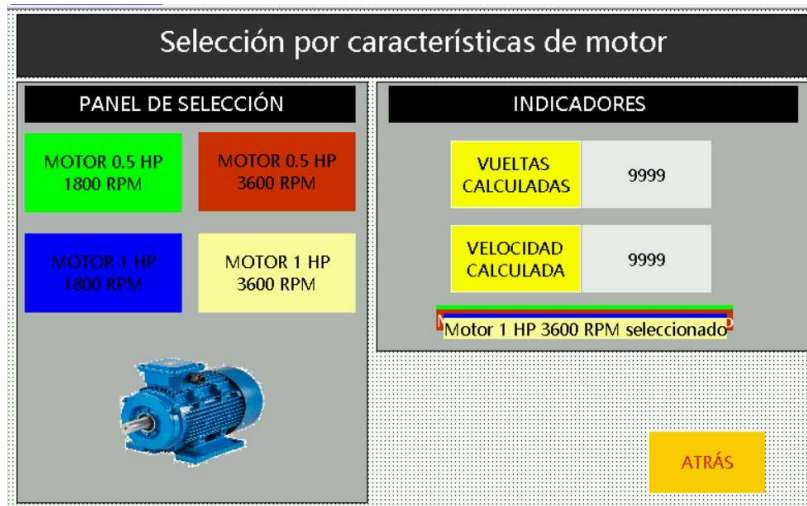


Nota. Con el botón “Modo Auto” del menú principal se accede a esta pantalla.

Para el proceso automático se cuenta con la opción de selección de motores para los cuales sus parámetros ya han sido previamente establecidos, en la pantalla se muestran los cuatro tipos de motores y un cuadro indicador donde se visualizan el número de vueltas y velocidad establecida para ese motor y que motor fue seleccionado. En la Figura 53 se observa la pantalla con los tipos de motores que se pueden seleccionar.

Figura 53

Menú de motores

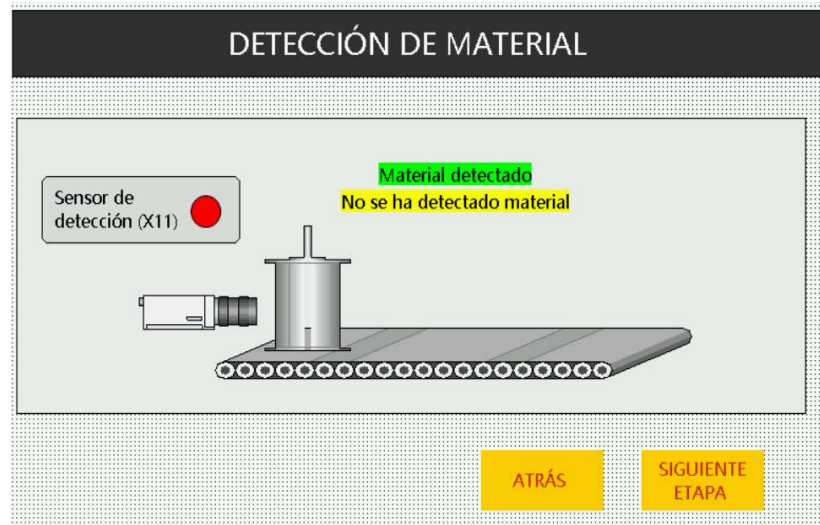


Nota. Los parámetros de número de vuelta y velocidad fueron previamente cargados.

En la Figura 54 se visualiza la etapa 2 cuando se inicie la marcha del proceso la banda estará en movimiento hasta llegar al sensor donde se procede a detectar los materiales que son el núcleo del estator y el alambre, mientras esto no suceda aparecerá el mensaje “No se ha detectado material” y no se podrá continuar a la siguiente etapa que es el bobinado, una vez detectado el material se muestra el mensaje “Material detectado” e inicia el proceso de devanado.

Figura 54

Etapa 2: Detección de materiales



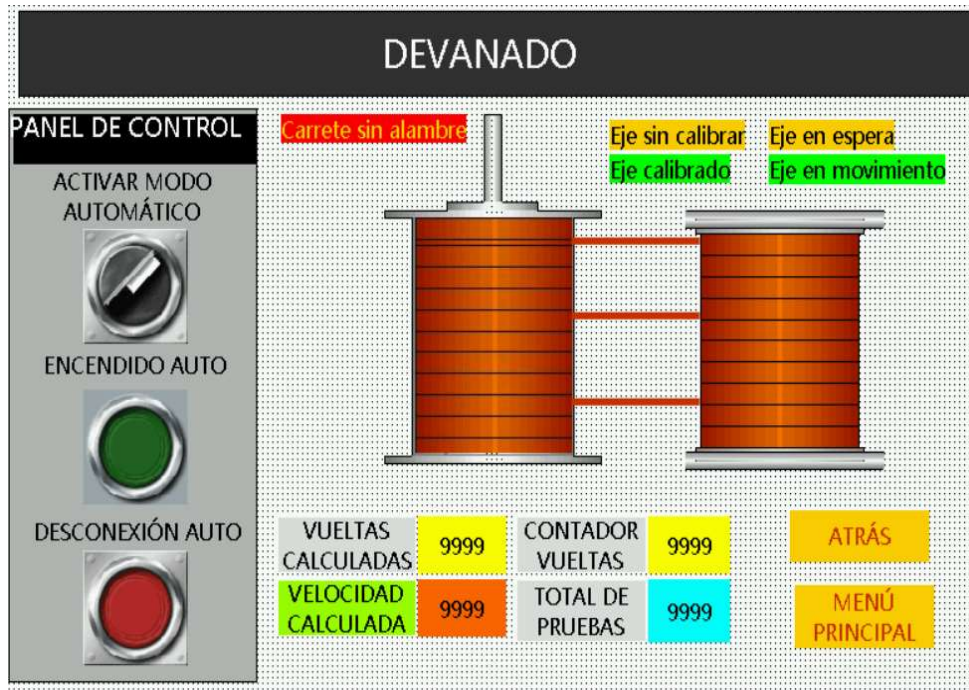
Nota. Una vez que el sensor detecta el material continuará a la siguiente etapa.

La etapa 3 es la etapa final del devanado de la bobina, la pantalla se diseñó para que en esta se visualicen el número de vueltas reales y las vueltas calculadas, también se muestran mensajes como “eje sin calibrar”, “eje calibrado”, “eje en espera” y “eje en movimiento” que son los que indican el estado del eje del servomotor.

También cuenta con el mensaje “Carrete sin alambre” el cual se muestra cuando existe una rotura de este, en ese momento aparecerá en pantalla una alarma que indica la falta de alambre cuando esta alarma se activa el proceso se detiene, en la Figura 55 se muestra el diseño de esta pantalla.

Figura 55

Etapa final del bobinado de un motor



Nota. Las etapas 3 al devanado y extracción de la bobina.

5.3.4 Etapa 4: Configuración de los parámetros del servodrive

Se configuraron los parámetros del servodrive en el software ServoPlover, en el cual es importante definir la frecuencia, el modelo del servomotor que en este caso es el 236 se establece en el parámetro P0.00, también se estableció el sentido de giro, se escogió CCW (0) ya que es en sentido antihorario en el parámetro P0.02, CW (1) es en sentido horario.

El modo de control del servodrive fue configurado en modo posición, esto se configuró en el parámetro P0.03, en el parámetro P0.22 se establecieron 30.000 pulsos por revolución. En el parámetro P0.23 se establece el modo pulso + dirección para configurar por el PLC el tren de pulso. En la Figura 56 se muestra la configuración de los parámetros del servodrive.

Figura 56

Parámetros del servodrive

Function Code	Parameter Name	Current Value	* Unit	Min	Max	Default	Read/Write	Effective	Save	Mode	F	P	S	T	Description
P0.00	Motor Type	236	-	0	9999999	236	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.01	Encoder type selection	2500 line stan	-	1	13	2500 line standard inc	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.02	Motor Forward Direction	CCW	-	0	1	CCW	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.03	Control Mode Selection	Position mode	-	0	9	Position mode	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.04	Internal servo enabling	Disable	-	0	1	Disable	RW	INS	Unsa		√	√	√		
P0.05	Jog speed	300	r/mi	0	1000	200	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.06	Numerator of encoder pulse o	10000	-	0	2147483	10000	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.07	Denominator of encoder pulse	10000	-	1	2147483	10000	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.08	Pulse feedback direction revers	Pulse output r	-	0	1	Pulse output reversing	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.09	Torque limit mode selection	1:Max Torque	-	0	6	1:Max Torque Limit1	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.10	1st Torque limit	300.0	%	0	500	300.0	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.11	2nd Torque limit	300.0	%	0	500	300.0	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.13	Power of the external braking	200	W	0	5000	200	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.14	Resistance of the external brak	60	Ω	1	1000	60	RW	RS	Save		√	√	√		
P0.15	Default monitoring parameters	0	-	0	22	0	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.16	Parameters modification opera	Permitted	-	0	1	Permitted	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.17	EEPROM save mode selection	Individual sav	-	0	1	Individual save	RW	INS	Save		√	√	√		
P0.18	Manufacturer password	0	-	0	65535	0	RW	INS	Unsa		√	√	√		
P0.20	Position command selection	Pulse input	-	0	4	Pulse input	RW	RS	Save		√	√			
P0.22	Pulse counts per revolution	30000	puls	0	2147483	10000	RW	RS	Save		√	√			
P0.23	Pulse input mode selection	Pulse+Directi	-	0	2	Pulse+Direction	RW	RS	Save		√	√			
P0.24	Pulse input direction reversing	Positive	-	0	1	Positive	RW	RS	Save		√	√			
P0.25	Numerator of the 1st electroni	0	-	0	2147483	0	RW	INS	Save		√	√			
P0.26	Denominator of the electronic	10000	-	1	2147483	10000	RW	INS	Save		√	√			
P0.27	Numerator of the 2nd electroni	0	-	0	2147483	0	RW	INS	Save		√	√			
P0.28	Numerator of the 3rd electroni	0	-	0	2147483	0	RW	INS	Save		√	√			

Nota. Configuración de los parámetros del servodrive en el software ServoPlover.

En la Figura 57 se puede observar la numeración de los pines del terminal CN1 para el servodrive modelo SV-DA200, con la información de cada pin obtenida del manual de uso del servodrive se procedió a definir los que van a ser utilizados y la función que cumplirá cada uno.

Figura 57

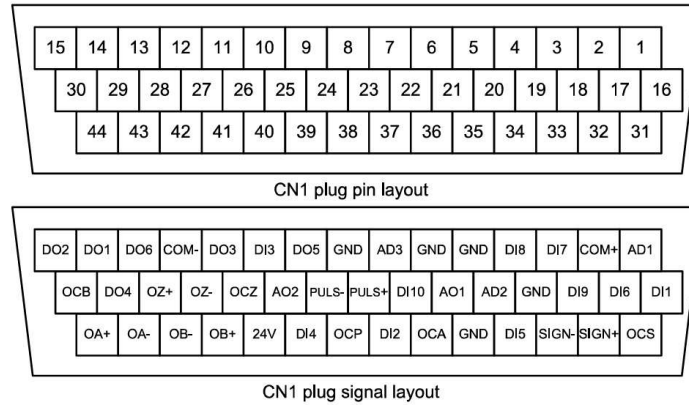
Terminal CN1 del servodrive

SV-DA200 series AC servo drive

Control mode applications

4.4 CN1 function instruction

4.4.1 Pins of CN1 terminal



Nota. Pines del terminal CN1 del servodrive. Tomada de (INVT, 2020).

A continuación, en la Tabla 1 se describen los pines que fueron utilizados del terminal CN1 del servodrive, cada pin fue utilizado para una función específica.

Tabla 1

Pines utilizados del terminal CN1

Pin	Señal	Función
24	PULS-	Entrada de pulso negativo
16	DI1	Entrada digital 1 - Habilita el servo (SON)
2	COM+	Puerto común para entradas digitales
15	DO2	Salida digital 2 - Señal de alarma (ALM)
14	DO1	Salida digital 1 - Servo listo (RDY)
38	OCP	Salida de pulso tipo colector
12	COM-	Común de salidas digitales

Nota. Tabla de pines utilizados del terminal CN1 del servodrive

5.3.5 Etapa 5: Pruebas finales del control automático

Por último, en esta etapa se realizó la implementación del prototipo en el tablero que se encuentra dentro del Laboratorio de Automatización Industrial II, y se llevaron a cabo las pruebas finales del prototipo y los ajustes requeridos para el correcto funcionamiento del control del bobinado automático.

En la Figura 58 se puede observar el módulo utilizado el cual posee un servomotor que es el actuador del proceso, al cual en el eje del servomotor se adecuó un cilindro de nylon que simula el núcleo del estator de un motor de inducción, sobresale un gancho que está adecuado al eje del servomotor para que el sensor inductivo lo detecte y realice el conteo del número de vueltas, también se añadió un carrete a la base que es donde se va a enrollar el alambre.

Figura 58

Modulo didáctico con servomotor, PLC y HMI



Nota. El sensor detectará el eje del servomotor y realizará el conteo.

Se realizó la conexión doble delta de un motor eléctrico el cual será alimentado por un variador de frecuencia, los terminales U1, V1, W1 están conectados a la salida del variador, al momento de dar marcha al proceso la banda se activa, esto se muestra físicamente con el movimiento del motor, el variador de frecuencia regula la velocidad del motor, cuando el material llegue a la parte de sensado, el motor se detiene lo que indica que la banda se detuvo, para que luego pase a la siguiente etapa que es el devanado. En la Figura 50 se muestra la conexión del motor y el variador.

Figura 59

Conexión del motor al variador de frecuencia



Nota. El variador de frecuencia utilizado es el que se encuentra en un módulo didáctico del Laboratorio de Automatización Industrial II

6. RESULTADOS

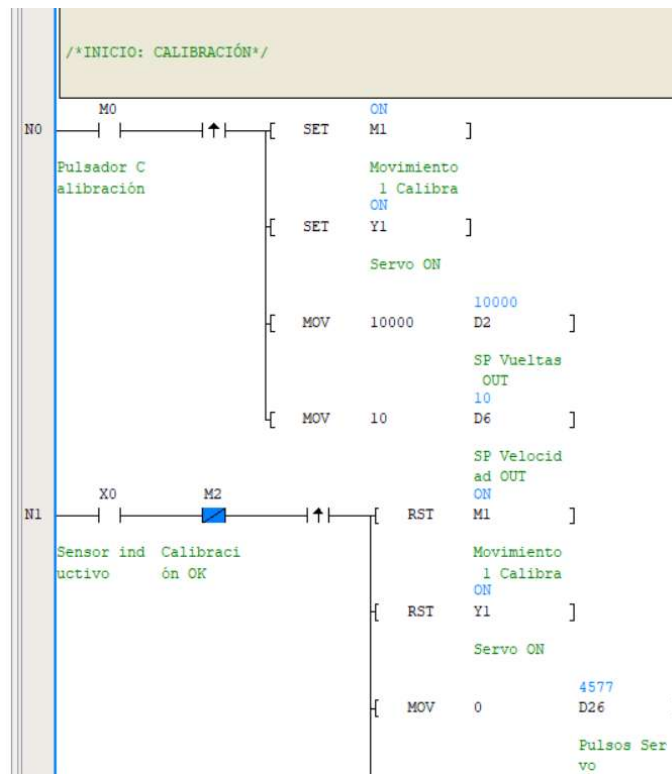
En esta sección se muestran los resultados de las pruebas realizadas en el módulo que se encuentra en el Laboratorio de Automatización II, se verifica el cumplimiento de cada etapa del proceso de bobinado y el correcto funcionamiento de las alarmas establecidas. También se verifica la precisión en el conteo de vueltas comparando las vueltas obtenidas con el Setpoint establecido para cada motor.

6.1 Programación del PLC

Se procedió a poner en línea la programación del PLC realizada en Auto Station para observar el estado de las variables, en la Figura 60 se observa el network de calibración aquí se indica que la etapa de calibración ha sido activada y que el servomotor ha sido activado.

Figura 60

Inicio de calibración

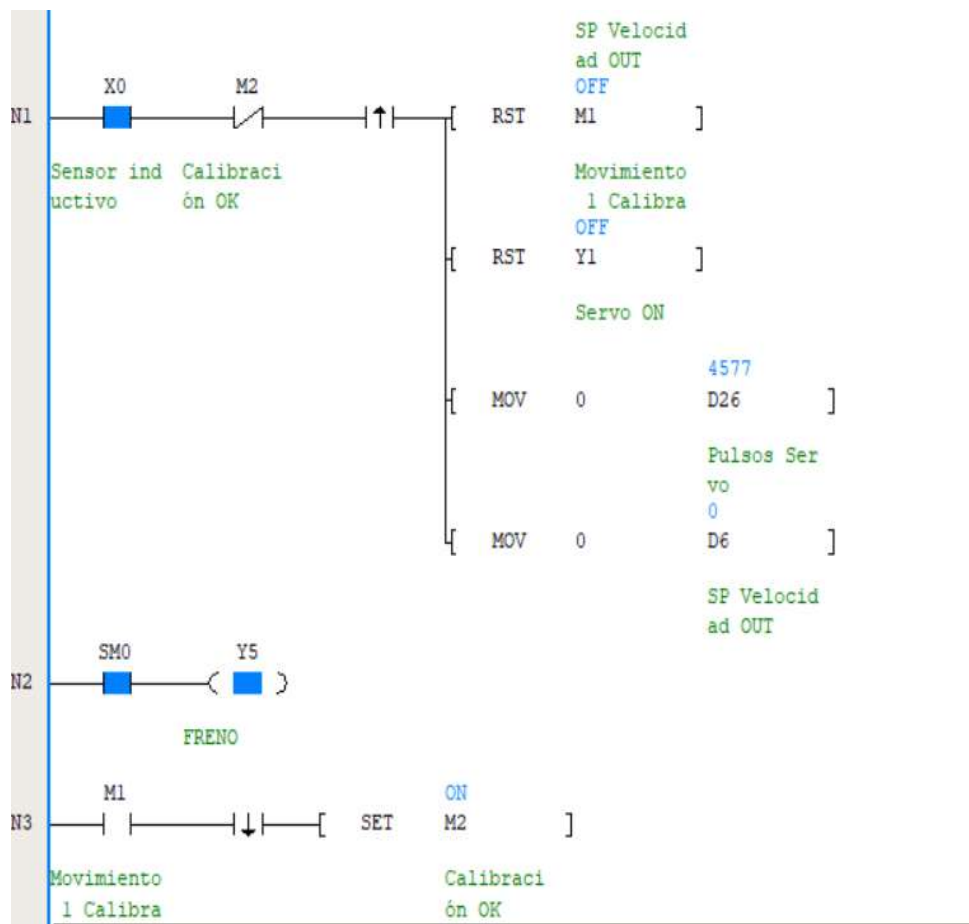


Nota. La marca Y1 se encuentran en ON lo que indica que la etapa de calibración está en curso, el eje del servomotor se encuentra en movimiento.

Una vez el sensor inductivo detecta el eje del servomotor la entrada digital X0 que corresponde al sensor inductivo se activa, y la etapa de calibración se da por finalizada, en la Figura 61 se muestra que el estado de la salida digital Y1 cambia a OFF lo que indica que la acción de movimiento se desactiva por lo tanto el servo se detiene, la marca M2 se encuentra en ON por lo tanto el eje está calibrado.

Figura 61

Calibración realizada

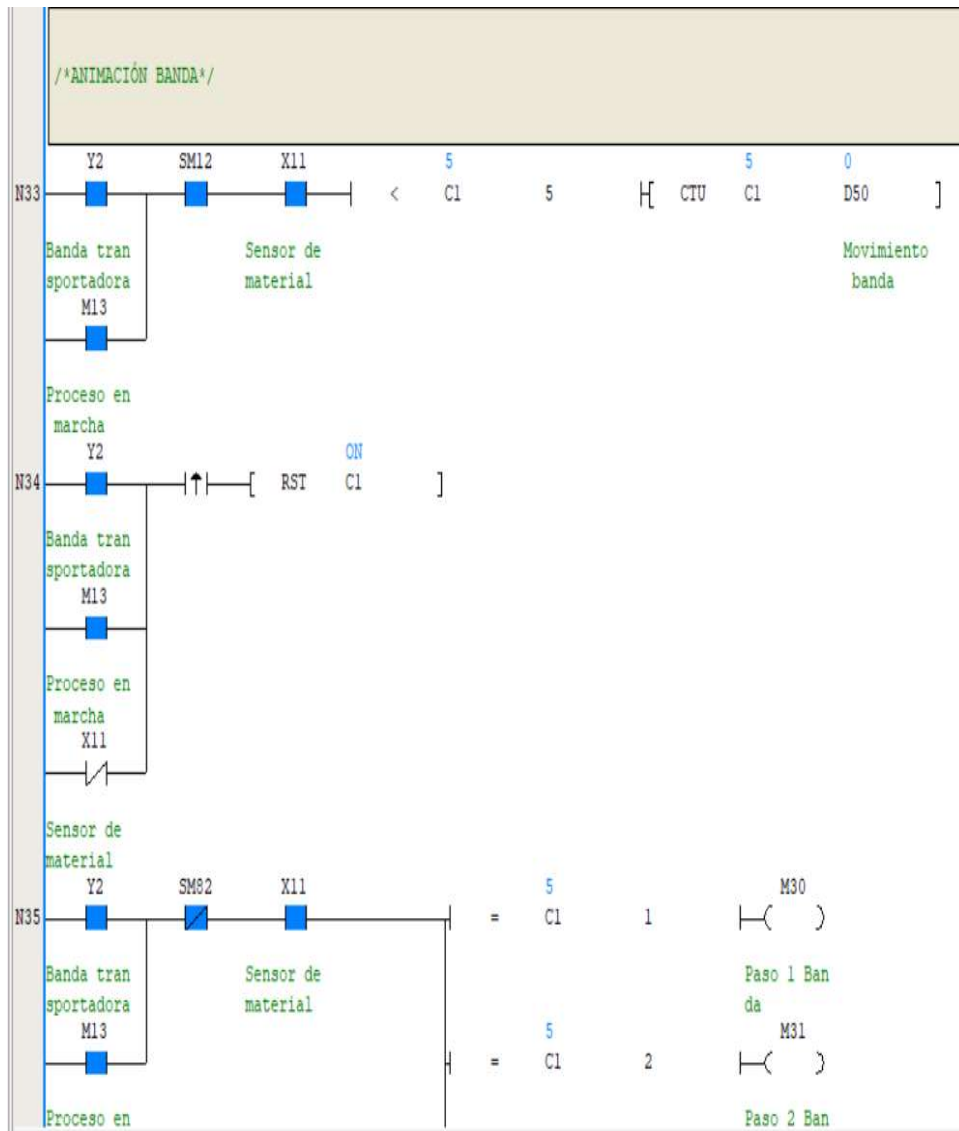


Nota. La marca M2 se activa cuando el eje fue calibrado.

Al poner la banda en movimiento, las variables Y2 y M13 se encuentran activadas, lo que da paso al sensado de material y es cuando la variable X11 se activa, como se muestra en la Figura 62 y a partir de este momento el contador C1 se activa para dar paso a las siguientes etapas del proceso ya sea en el modo manual o automático.

Figura 62

Banda en movimiento

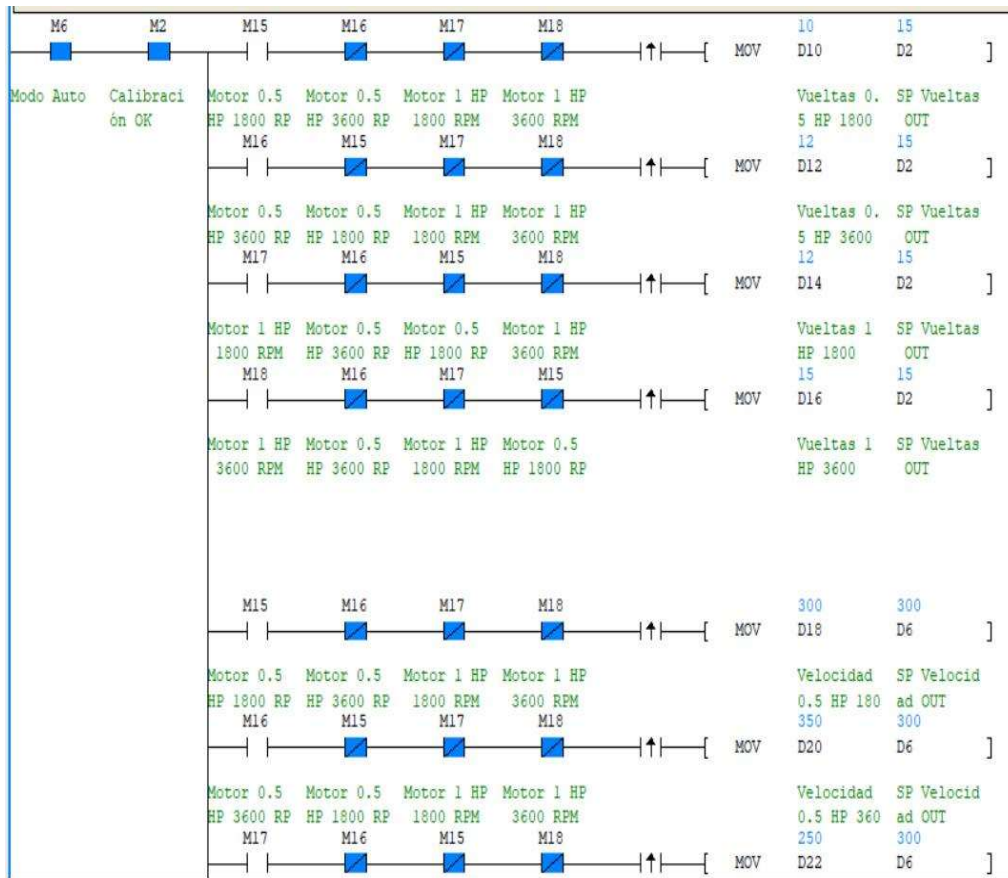


Nota. Puesta en marcha del proceso.

Cuando se elige entre el modo manual o automático se activa la marca que representa a cada modo, en la Figura 63 se visualiza que la marca M5 está activada, por lo tanto, se está dentro del modo manual y dará paso a las opciones de configuración de los parámetros de velocidad y número de vueltas para el bobinado del motor y puesta en marcha y paro del proceso.

Figura 64

Activación del modo automático



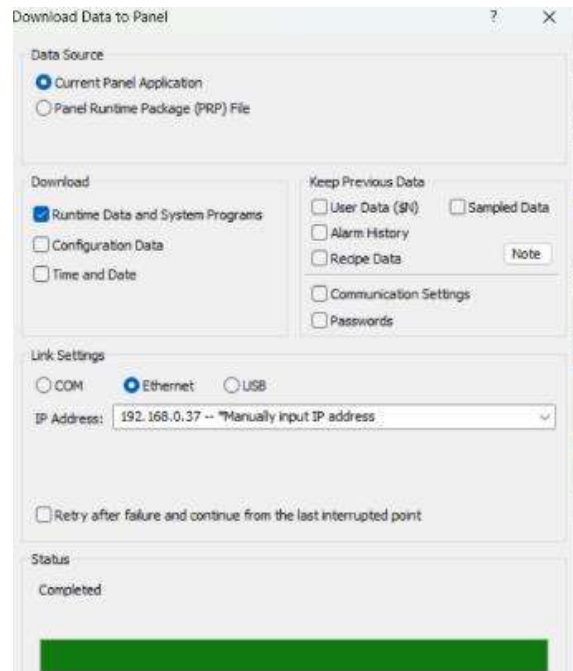
Nota. Todas las acciones en el modo automático dependen de la activación de M6.

6.2 Interfaz HMI

Se procedió a cargar los diseños de cada pantalla al HMI, lo cual se puede realizar con cable USB o cable Ethernet, en la Figura 65 se muestra la ventana en donde se elige el medio para subir la programación en este caso se utilizó Ethernet, por lo cual es necesario ingresar la dirección 192.168.0.37 que corresponde a la IP de la pantalla HMI que se tiene en el tablero.

Figura 65

Ventana para cargar la programación del HMI



Nota. En caso de elegir la opción Ethernet se debe colocar la IP de la pantalla que se tenga.

En la Figura 66 se muestra los parámetros configurados para cada motor.

Figura 66

Configuración mediante recetas



Nota. Una vez configuradas las recetas los parámetros se quedan guardados.

El primer paso para iniciar el proceso de bobinado es la calibración del eje, en la Figura 67 se observa que el eje se encuentra calibrado y en su posición HOME

Figura 67

Calibración del eje



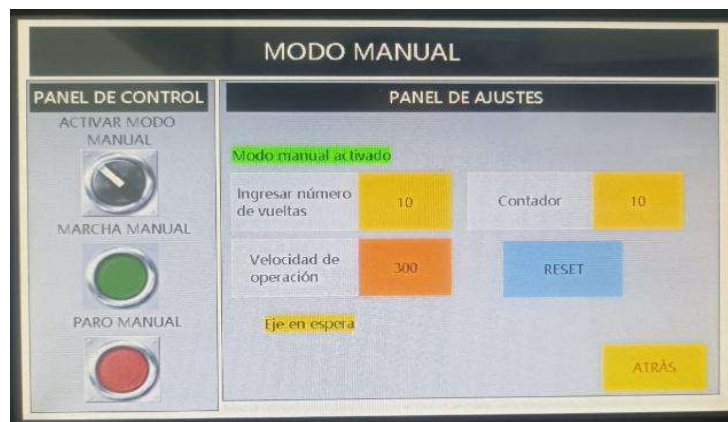
Nota. La calibración es necesaria para asegurar que cada giro sea una vuelta completa

6.2.1 Modo Manual

En la Figura 68 se observa la pantalla del modo manual, con el mensaje informativo “Modo manual activado”, una vez que el contador es igual al número de vueltas ingresadas el servomotor se detiene por lo tanto aparece un mensaje de “eje en espera”.

Figura 68

Contador igual al Set Point



Nota. Una vez el contador sea igual al Set Point el servomotor se detendrá.

6.2.2 Modo automático

Al momento de activar el modo automático se muestra el mensaje informativo “Modo automático activado” es cuando se podrá seleccionar el tipo de motor. En la Figura 69 se muestra la pantalla con el modo automático activado y la banda en movimiento.

Figura 69

Modo automático activado



Nota. Se debe activar el modo automático antes de elegir el motor.

Una vez el modo automático esté activado, se procede a la selección del motor que se va a bobinar, en la Figura 70 se observa los parámetros cuando se selecciona el motor de 0.5 HP 1800 rpm.

Figura 70

Pantalla para la selección de motores



Nota. Los parámetros de los motores no pueden ser modificados dentro de esta pantalla.

En la Figura 71 se muestra la luz piloto de color verde Y10 la cual está conectada a la salida Y11 del PLC, está luz es un indicador de que la banda se encuentra en movimiento para que el material llegue a la zona de sensado.

Figura 71

Indicador de banda en movimiento



Nota. Cuando se da marcha al proceso automático, la luz led verde se activa.

Al pulsar X2 se indica que el material llegó a la zona de sensado en ese momento la banda se detiene y Y10 se apaga, el selector X5 actúa como el sensor de material si este está en ON significa que hay material y se enciende la luz piloto Y7 que indica que el devanado ha comenzado, esto se puede observar en la Figura 72.

Figura 72

Inicio del devanado

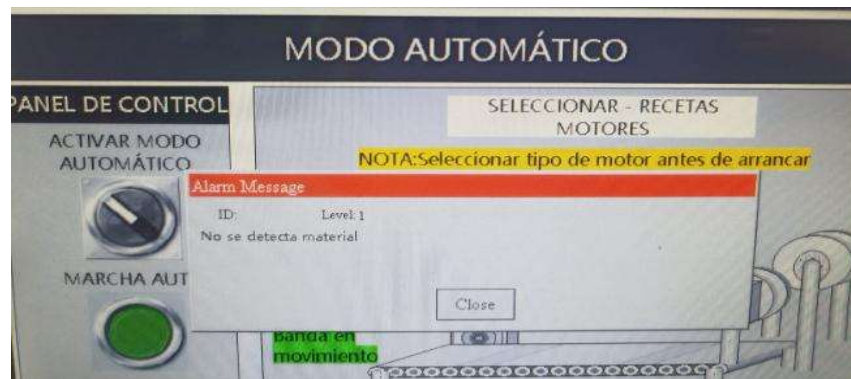


Nota. La luz piloto indica que el eje del servomotor está en movimiento.

Se estableció una alarma para la falta de material que se activa si el selector X5 que trabaja como el sensor de material se coloca en OFF, si una vez seleccionado el tipo de motor se procede a dar inicio al proceso de bobinado sin que el sensor haya detectado que el material se encuentra listo, aparecerá una advertencia en la pantalla tal y como se observa en la Figura 73.

Figura 73

Mensaje de advertencia por falta de material



Nota. Al momento que aparece la alarma no se va a poder dar marcha al proceso.

En la Figura 74 se observa la pantalla de la última etapa del devanado, en la cual se visualiza el contador que indica el número de vueltas que han sido realizadas cuando son iguales al Setpoint que son las vueltas calculadas se detendrá de forma automática y el contador se reiniciará.

Figura 74

Etapa de devanado



Nota. En esta etapa se muestra la formación de la bobina.

Cuando el selector X4 se coloca en OFF se activa una alarma que indica terminación o rotura de alambre, en ese momento el bobinado se detiene conservando la última vuelta que dio, cuando el selector se vuelve a poner en ON el proceso se reanuda desde el punto de fallo. En la Figura 75 se visualiza la alarma de Falta de alambre.

Figura 75

Alarma de rotura o terminación de alambre



Nota. El proceso no se reanuda, aunque se cierre el mensaje de alarma.

6.2.3 Alarmas

El proceso cuenta con dos alarmas para la falta de material y la falta de alambre, cada vez que se activa una alarma durante el proceso esta queda guardada y se puede visualizar en una tabla, tal como se muestra en la Figura 76.

Figura 76

Tabla de alarmas

ALARMAS						
Date	Time	Block ID	Level ID	Status	Message	
11/07/25	09:34	0	1	A	Falta Alambre	
11/07/25	09:34	1	1	A	No se detecta material	
11/07/25	05:32	0	1	A	Falta Alambre	
11/07/25	09:34	0	1	C	Falta Alambre	
11/07/25	09:34	1	1	C	No se detecta material	
11/07/25	05:33	0	1	C	Falta Alambre	

Nota. Cada alarma se visualiza en la tabla, lo indicado en color rojo corresponde a las alarmas que se generan y lo de color verde representa la corrección del error generado.

6.3 Implementación

La implementación final en el módulo se puede observar en la Figura 77, para integrar el variador al módulo se utilizó una entrada digital del variador la cual se conectó a la salida digital Y2 del PLC

Figura 77

Integración del variador de Frecuencia

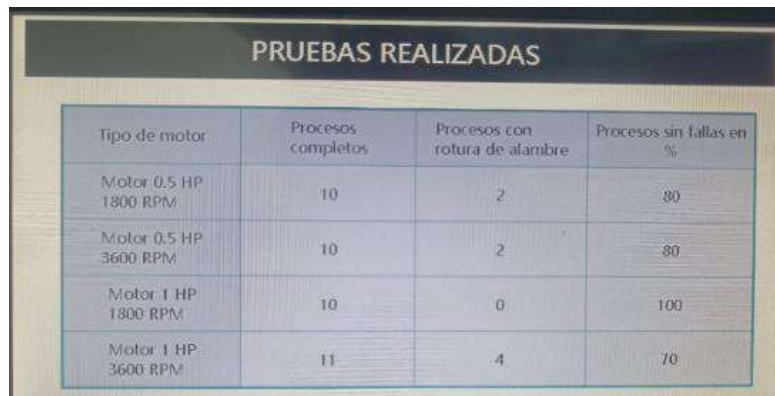


Nota. El variador de frecuencia controla la velocidad del motor de inducción que activa la simulación de la banda transportadora.

En la Figura 78 se muestra el total de pruebas realizadas para cada tipo de motor, aquí se especifica cuantos procesos fueron realizados y en cuántos de esos existió una falla de terminación o rotura de hilo, en los motores de 0.5HP de 1800 RPM y 3600 RPM se logró una repetibilidad del proceso sin fallos del 80%, en el motor de 1 HP de 1800 RPM se consiguió una repetibilidad del proceso sin fallas del 100% mientras que en motor de 1HP de 3600 RPM se obtuvo una repetibilidad del 70% en los procesos completados sin fallas.

Figura 78

Pruebas realizadas



Tipo de motor	Procesos completos	Procesos con rotura de alambre	Procesos sin fallas en %
Motor 0.5 HP 1800 RPM	10	2	80
Motor 0.5 HP 3600 RPM	10	2	80
Motor 1 HP 1800 RPM	10	0	100
Motor 1 HP 3600 RPM	11	4	70

Nota. La repetibilidad consiste en las veces en el proceso fue finalizado sin ningún tipo de fallos

Se realizaron un total de 10 pruebas del proceso de bobinado de motores eléctricos de inducción en las cuales se activó la alarma de falta de alambre, estas fueron detectadas en el momento, esto se evidencia en la tabla mostrada en la Figura 79 aquí se puede visualizar que fueron detectadas 10 alarmas de falta de alambre junto con su día y hora en color rojo y en color verde se muestra el momento en que el fallo fue corregido para que el proceso continúe.

Figura 79

Detección de falta de alambre



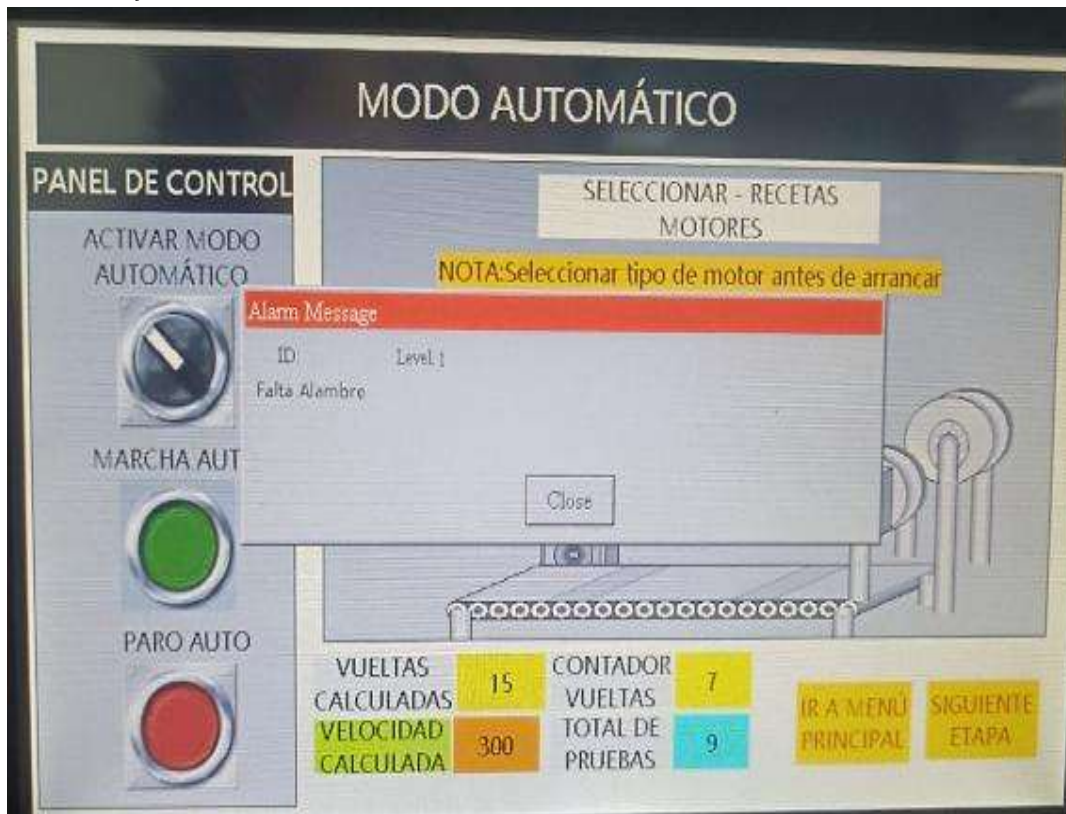
Date	Time	Block ID	Level ID	Status	Message
17/07/25	17:12	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	17:12	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	17:11	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	17:11	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	17:09	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	17:07	1	1	A	No se detecta material
17/07/25	17:03	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	16:59	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	16:55	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	16:55	0	1	A	Falta Alambre
17/07/25	17:12	0	1	C	Falta Alambre

Nota. En la tabla no solo se muestra el momento en que se activó la alarma si no también cuando el error es corregido.

En esta prueba se estableció un Setpoint de 15 vueltas para el motor de 1HP de 1800 RPM, al existir una interrupción en el proceso del devanado por terminación o rotura de alambre, el bobinado se detiene, y guarda el último valor que contó el contador, es decir, el contador queda pausado en el último número de vuelta que fue realizado, en este caso 7 tal y como se muestra en la Figura 80.

Figura 80

Prueba de fallo de alambre

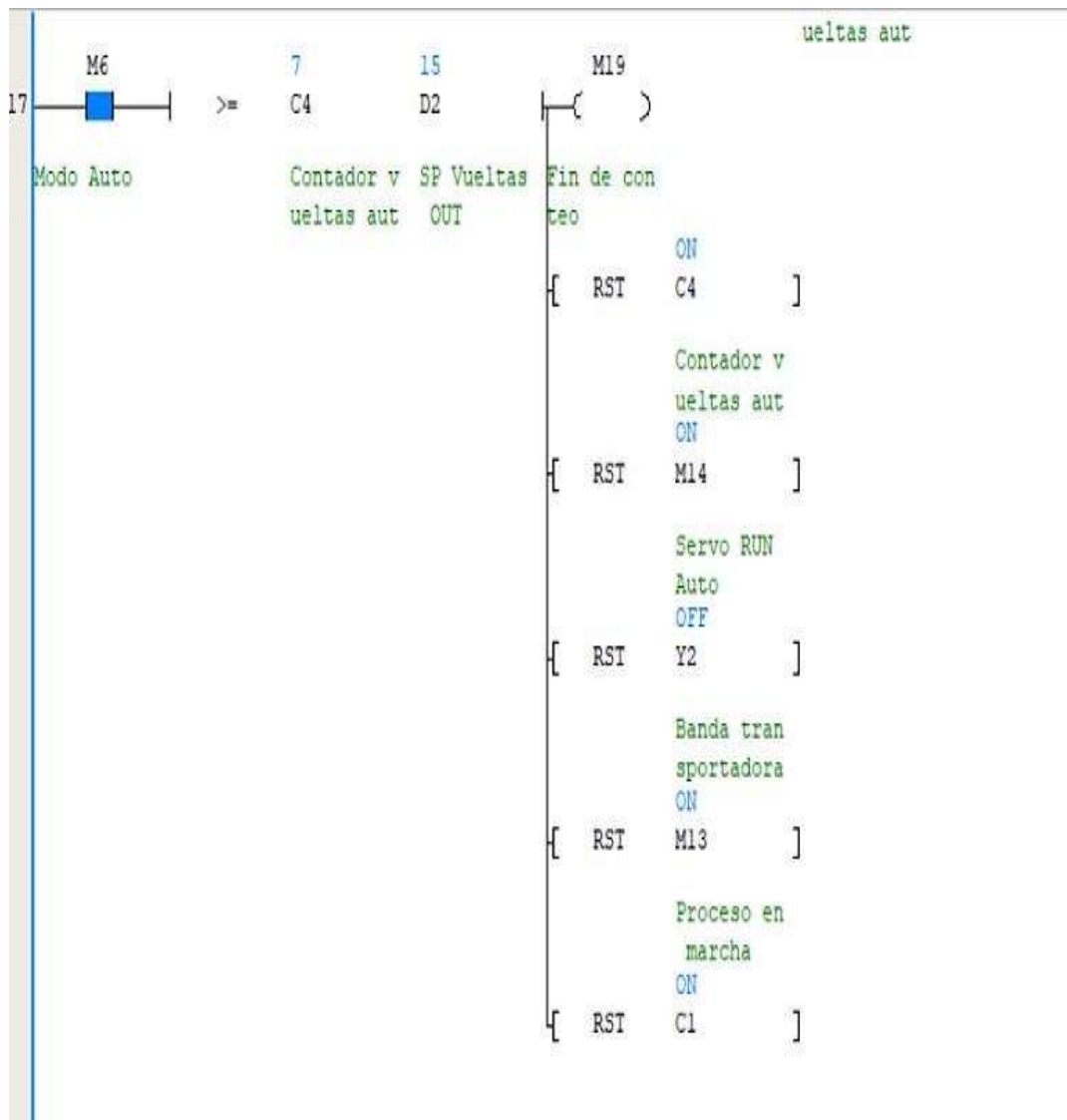


Nota. Se podrá cerrar el mensaje de alarma, pero el proceso no continuará hasta que se resuelva el fallo.

En la Figura 81 se puede observar la programación, al momento que sucede el fallo de alambre, en la variable C4 que corresponde al contador de vueltas reales del proceso automático, queda guardado la cantidad de 7 vueltas, D2 corresponde al setpoint del número de vueltas que se debe llevar a cabo.

Figura 81

Estado de C4 en fallo de alambre

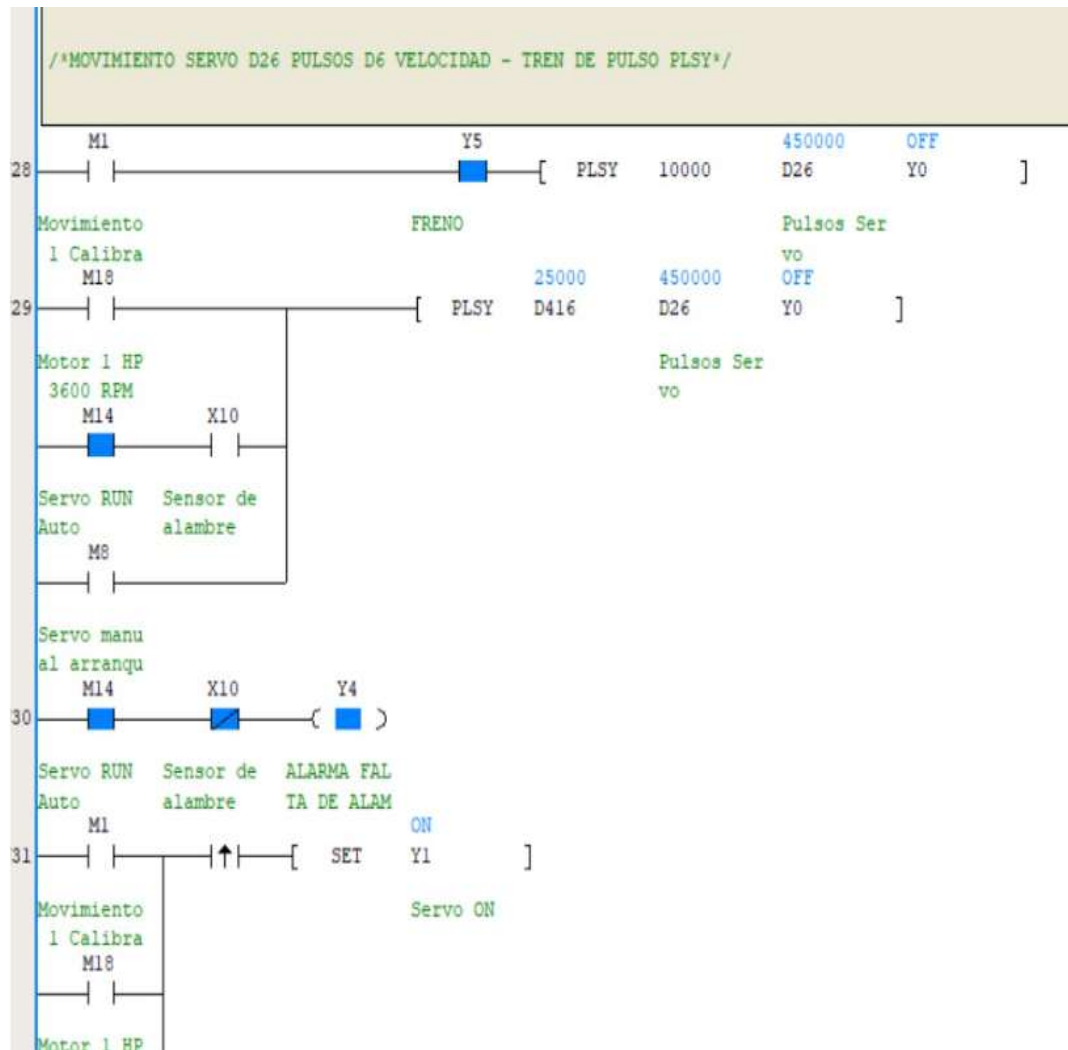


Nota. En C4 se queda guardado el último dato del número de vueltas que se registró antes de la alarma de alambre, D2 corresponde al setpoint.

En la Figura 82 se observa cuando se activa la salida digital Y4 que corresponde a la alarma de rotura de alambre, visualmente se observa encendida una luz led roja en el tablero. Esta salida se activa al colocar a X10 que representa un selector en estado OFF.

Figura 82

Estado de Y4 por rotura de alambre



Nota. La variable X10 se encuentra en estado off, se activa Y4 que es la alarma de falta de alambre.

En la Figura 83 se observa que una vez el fallo fue corregido, el proceso se reanuda, pero el contador no se reinicia ya que el dato de la última vuelta que se realizó queda guardado y se detiene en el momento que llega al Setpoint reiniciándose automáticamente.

Figura 83

Reinicio del proceso

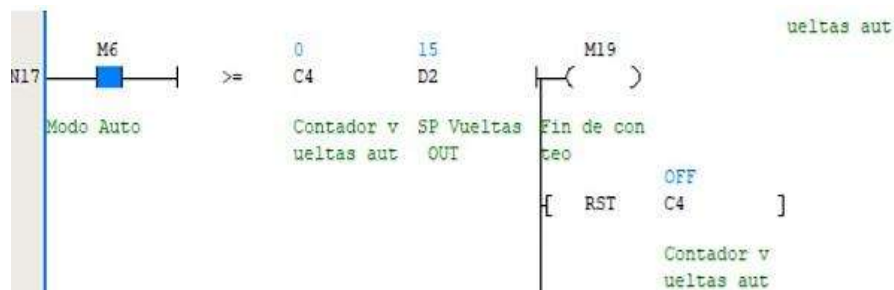


Nota. Antes del fallo se contaron 7 vueltas y a partir de ahí continua el conteo al momento de reiniciarse.

En la Figura 84 se muestra la programación en el momento que el proceso completa las 15 vueltas establecidas en el Setpoint.

Figura 84

Reset del contador C4



Nota. Cuando se llega al Setpoint el contador se resetea y el proceso finaliza.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 2 se muestran las actividades que se realizaron durante los meses de Mayo, Junio, Julio en un período de 4 semanas por mes, en la cual se puede visualizar cada uno de los pasos que conllevó realizar el desarrollo del proyecto.

Tabla 2

Cronograma de actividades

<i>Actividades</i>	<i>Tiempo de duración</i>												
	<i>Meses</i>	<i>Mayo</i>				<i>Junio</i>				<i>Julio</i>			
	<i>Semanas</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Elección del tema del proyecto de titulación.		X											
Definición de objetivos generales y específicos.		X											
Planteamiento e identificación del problema.					X	X							
Revisión y selección de las metodologías a utilizar.								X					
Investigación sobre el manejo del software Auto Station para la programación del PLC.							X						
Desarrollo de la programación en el PLC para las distintas etapas del bobinado de un motor eléctrico.								X	X	X			
Desarrollo de la interfaz HMI para la visualización de cada etapa del bobinado.										X	X		
Investigación y programación del servomotor y servo Drive.										X	X		
Implementación en el módulo y ajuste de los parámetros del servomotor.											X	X	
Pruebas finales del todo el control automático.													X

Nota. En esta tabla se desglosa de manera semanal cada actividad que se llevó a cabo durante los tres meses mencionados.

8. PRESUPUESTO

En la Tabla 3 se da a conocer el presupuesto sobre las horas de ingeniería que tomamos en cuenta al momento de desarrollar el proyecto tomando en cuenta el salario básico unificado y el valor estimado del conector sin soldadura DB44 macho que se requiere para conectar las entradas digitales del servodrive.

Tabla 3

Cuadro de presupuesto

<i>DETALLE</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>COSTO UNITARIO</i>	<i>COSTO TOTAL</i>
<i>Horas de ingeniería</i>	80h	\$2,93	\$234,40
<i>Conector sin soldadura DB44 macho</i>	1	\$16,99	\$16,99
<i>Relé electromecánico Siemens modelo PT370024 con base</i>	1	\$16,00	\$16,00
<i>Relé electromecánico tipo Slim</i>	1	\$5,00	\$5,00
TOTAL			\$272,39

Nota. Cuadro de presupuesto.

9. CONCLUSIONES

- La programación realizada en el PLC en el software Auto Station permitió el desarrollo y control de cada etapa del proceso automático del bobinado de motores eléctricos de inducción con sus respectivas condiciones de funcionamiento y alarmas de advertencia, configurando un modo manual y automático del proceso.
- La implementación de la HMI facilitó el monitoreo en tiempo real de cada etapa del proceso de devanado, brindando una visualización clara de los datos de conteo y mostrando las alarmas de fallo lo que permite tener conocimiento del error que está ocurriendo en el proceso y corregirlo de forma inmediata.
- La integración del PLC, HMI, servodrive y servomotor de la marca INVT en un tablero permitió el desarrollo de un sistema compacto para el conteo y control de las etapas del devanado de bobinas, además se integró un variador de frecuencia el cual controla la velocidad de un motor de inducción que realiza la activación de la banda transportadora simulada en el HMI.

10. RECOMENDACIONES

- Utilizar marcas en lugar de direccionar directamente las entradas en el código, ya que facilita el mantenimiento. Si una entrada digital se daña físicamente, solo se reemplaza la entrada sin necesidad de modificar todo el código, ya que la marca asignada no requiere cambios.
- Añadir una tarjeta de memoria microSD en el HMI para poder utilizar una mayor cantidad de imágenes al momento de realizar el diseño de la interfaz de cada pantalla.
- Colocar un relé de estado sólido en lugar de un relé electromecánico, ya que al momento de que el sensor inductivo detecta el número de vueltas a una velocidad muy alta del servomotor, el relé electromecánico se desgasta con el paso del tiempo por el impacto mecánico constante debido a los pulsos rápidos, en cambio el relé de estado sólido es ideal para aplicaciones con conmutaciones rápidas

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bobinados Castel. (11 de Febrero de 2025). *Bobinados Castel*. Obtenido de Bobinados Castel: <https://bobinadoscastel.com/que-es-el-bobinado-de-motores-electricos-y-porque-es-clave/>
- Advanced Motion Controls. (12 de Junio de 2024). *¿Cuáles son las ventajas de los servomotores?* Obtenido de Advanced Motion Controls: <https://www.a-m-c.com/es/ventajas-del-servomotor/>
- AdvancedMotionControls. (29 de Agosto de 2024). *AdvancedMotionControls*. Obtenido de AdvancedMotionControls: <https://www.a-m-c.com/es/servomotor/>
- Aguilar, W. (26 de Noviembre de 2021). *slideshare*. Obtenido de slideshare: <https://es.slideshare.net/slideshow/bobinado-de-los-motores-electricos-250734914/250734914>
- Alvarado, M. (2022). *studocu*. Obtenido de studocu: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-durango/electricidad-y-electronica-industrial/programacion-ladder-material/56088521>
- Aude, J. (12 de Junio de 2024). *FOCUS*. Obtenido de FOCUS: <https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-un-motor-de-induccion-y-como-funciona>
- Automatización en español. (3 de Marzo de 2020). *Automatización en español*. Obtenido de Automatización en español: <https://automesp.blogspot.com/2020/03/tren-de-pulsos-con-temporizadores.html>
- Cardona, S. (06 de Septiembre de 2023). *Servomotores: una guía completa sobre tipos, construcción, trabajo, control y aplicaciones industriales*. Obtenido de Electro Center: <https://electrocentercol.com/blog/servomotores-tipos-construccion-trabajo-control-y-aplicaciones>
- CINSELMATIC SL. (8 de Abril de 2024). *CINSELMATIC SL*. Obtenido de CINSELMATIC SL: <https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/>
- Elecproy. (13 de Junio de 2024). *Elecproy*. Obtenido de Elecproy: <https://elecproy.com/es/blog/plcs-definicion-partes-ventajas/>
- Energía Controlada de México . (2025). *Energía Controlada de México*. Obtenido de Energía Controlada de México: <https://www.energiacontrolada.com/faq/Que-es-un-motor>

- Fonseca, A. (9 de Noviembre de 2023). *Confiabilidad en la reparación de motores eléctricos*. Obtenido de Rename CR:
<https://renamecr.com/index.php/2023/11/09/confiabilidad-en-la-reparacion-de-motores-electricos/>
- Fortune Business Insights. (28 de Abril de 2025). *Mercado de servomotores integrados*. Obtenido de <https://www.fortunebusinessinsights.com/integrated-servo-motor-market-110555>
- González, P. J. (2023). *Montaje y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas. ELEE0109*. (I. Editorial, Ed.) IC Editorial. Obtenido de https://books.google.es/books?id=uqHIEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=e&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Guailacela Mesías, A. S., & Pérez Maldonado, D. A. (2021). *DSPACE. UPS*. Obtenido de DSPACE. UPS: <https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21819/4/UPS-GT003608.pdf>
- Harris, M. (21 de Septiembre de 2021). *Altium*. Obtenido de Altium:
<https://resources.altium.com/p/serial-communications-protocols-rs-485>
- Hidroelec Bobinados. (1 de Febrero de 2024). *Hidroelec Bobinados*. Obtenido de Hidroelec Bobinados: <https://www.hidroelecbobinadoscordoba.es/bobinado-de-motores-eletricos-importancia-y-proceso-detallado/>
- Hidroelec Bobinados. (1 de Febrero de 2024). *Hidroelec Bobinados*. Obtenido de Hidroelec Bobinados: <https://www.hidroelecbobinadoscordoba.es/bobinado-de-motores-eletricos-importancia-y-proceso-detallado/>
- Ignition. (10 de Abril de 2025). *Ignition*. Obtenido de Ignition:
<https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>
- IndiaMART. (2025). *IndiaMART*. Obtenido de IndiaMART:
<https://www.indiamart.com/proddetail/invt-ivc11-1410mat-plc-2853226528912.html>
- IndiaMART. (2025). *IndiaMART*. Recuperado el 15 de Mayo de 2025, de IndiaMART:
<https://www.indiamart.com/proddetail/invt-servo-motor-sv-ml06-0r4g-2-sa0-1000-0-4kw-2855764078597.html>
- Ingeniería Mecafenix. (12 de Octubre de 2023). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de Ingeniería Mecafenix:
<https://www.ingmecafenix.com/electronica/componentes/bobina/>

- INVT. (29 de Septiembre de 2021). *INVT*. Obtenido de INVT:
https://www.invt.com/uploads/file1/20210929/IVC1L%20Series%20PLC%20Quick%20Start%20User%20Manual_V1.0.pdf
- INVT. (2023). *INVT*. Obtenido de INVT: <https://dattech.com.vn/wp-content/uploads/2024/05/da200-ac-servo-system-catalog-202310-v52-newest-66.pdf>
- JRX automation s.r.o. (2025). *JRX automation s.r.o.* Obtenido de JRX automation s.r.o.:
<https://www.invtcz.cz/eshop/D220-sv-da200-0r4-2-s0>
- Krisbel, S. (2025). *Scribd*. Obtenido de Scribd:
<https://es.scribd.com/presentation/609015608/Estudiantes-ley-de-Faraday>
- Lita, & Maldonado. (Septiembre de 2024). *Diseño e implementación de una módulo de control para servomotores a través de PLC y HMI enfocado al desarrollo de prácticas en el Laboratorio de servomecanismos de la UPS*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28727>
- Logicbus. (22 de Enero de 2024). *Logicbus*. Obtenido de Logicbus:
<https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-hmi-definici%C3%B3n-tendencias-y-caracter%C3%ADsticas-clave-que-apuge>
- Logicbus. (2025). *Logicbus*. Obtenido de Logicbus:
<https://www.logicbus.com.mx/Modbus>
- López, J. (29 de Agosto de 2024). *Inspenet*. Obtenido de Inspenet:
<https://inspenet.com/articulo/aplicaciones-y-ventajas-de-un-servomotor/>
- Mahecha, J. (2021). Obtenido de
<https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/d72ed17f-1b83-4f5f-8994-339de2d3f179/content>
- Matan. (11 de junio de 2023). *Electricity and Magnetism*. Obtenido de Electricity and Magnetism: <https://www.electricity-magnetism.org/es/como-se-crea-un-campo-magnetico/>
- MOTORBA. (2023). *MOTORBA*. Obtenido de MOTORBA:
<https://motorba.com.ar/estator-de-un-motor/>
- Muñoz, H. A. (11 de septiembre de 2024). Obtenido de
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000857675/3/0857675.pdf>

- ORIENTAL MOTOR USA CORP. (2025). *Orientalmotor*. Obtenido de Orientalmotor:
<https://www.orientalmotor.com/servo-motors/technology/servo-motor-features.html>
- Plataforma Educativa 'ELE'. (2024). *ELE*. Obtenido de ELE:
<https://ele.chaco.gob.ar/mod/book/view.php?id=30445&chapterid=562>
- Prodel, SA. (2022). *Prodel*. Obtenido de Prodel:
<https://www.prodel.es/subareas/maquinas-electricas/>
- Promelsa. (22 de Noviembre de 2023). *Promelsa*. Obtenido de Promelsa:
<https://www.promelsa.com.pe/blog/post/que-es-motor-electrico-tipos.html?srsId=AfmBOoqJkm-Rt5BYC2Wx1X1OoGHnVwrOZ2jhM0ke6PZI-N2vLi8zLYkG>
- QBPROFE. (23 de Julio de 2021). *QBPROFE*. Obtenido de QBPROFE:
https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/sensores-inductivos/#google_vignette
- Quishpi-Quinte, C., & Lata-García, J. (9 de Septiembre de 2024). Diseño de una máquina bobinadora semiautomática y evaluación del tiempo de ejecución de bobinados de transformadores y motores eléctricos. *MQRInvestigar*, 8(3), 5646–5660. Obtenido de <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.5646-5660>
- Quispe Rojas, R. (3 de Marzo de 2020). *repositorio.une*. Obtenido de repositorio.une:
<https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/7964>
- SIMALEC. (2025). *SIMALEC*. Obtenido de simalec.com.:
<https://simalec.com/product/hmi-modelo-pulgadas-7/>
- TotalEnergies. (22 de septiembre de 2020). *TotalEnergies*. Obtenido de TotalEnergies:
<https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/induccin-electromagnetica>
- Transfer Multisort Elektronik. (23 de Mayo de 2024). *TME*. Obtenido de TME:
<https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/59558/campo-magnetico-sus-fuentes-y-propiedades/>
- URANY. (1 de Febrero de 2023). *URANY*. Obtenido de URANY:
<https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores>
- V2C. (7 de Agosto de 2024). *V2C*. Obtenido de V2C: https://v2charge.com/es/que-es-modbus-rtu-tcp-ip/#Modbus_Que_es_y_como_funciona
- Vazques y Rodriguez Ltd. (2024). *Bobinado de Motores Eléctricos: Errores Comunes y Cómo Prevenirlos*. Obtenido de Vazques y Rodriguez Ltd:

<https://www.vasquezyrodriguez.com/bobinado-de-motores-electricos-errores-comunes-y-como-prevenirlos>

Weis, O. (19 de Octubre de 2021). *Electronic Team*. Obtenido de Electronic Team:

https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/?srsltid=AfmBOop1PACfMQVQonFRygYDC9__HRUkOmis7RncHt7dM6l7Q7pMYTid

12. ANEXOS

En esta parte se incluyen los anexos que complementan en el desarrollo de la implementación del control automático de bobinado, mostrando los elementos los elementos que fueron añadidos al módulo que se encuentra en el Laboratorio de Automatización Industrial II.

La Figura 85 muestra la conexión de las entradas ubicadas en la parte superior y salidas ubicadas en la parte inferior del PLC.

Figura 85

Conexión del PLC



Nota. Las estradas están representadas por la letra X y las salidas por la letra Y.

En la Figura 86 se muestra el conector DB44 utilizado para el puerto CN1 del servodrive, para realizar la comunicación punto a punto entre el PLC y el servodrive.

Figura 86

Conector DB44



Nota. El conector DB44 es tipo macho.

Se añadió un relé electromecánico para la salida del sensor inductivo debido a que es PNP y envía la señal en 24V, por eso se utiliza este relé que actúa como un intermediario, usando su contacto auxiliar normalmente abierto para alimentar a 0V y esa salida enviarla al PLC que tiene entradas NPN, la Figura 87 se puede visualizar el relé implementado dentro del tablero.

Figura 87

Relé electromecánico para sensor inductivo

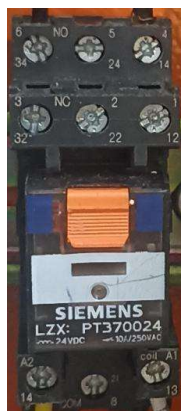


Nota. Al detectar la señal pega su contacto y se enciende la luz que está integrada al relé.

En la Figura 88 se observa el relé electromecánico de marca Siemens de 11 pines para activar la bobina del frenado del servomotor, cuando es energizado el freno se suelta, esto se alimenta por la salida Y5 del PLC.

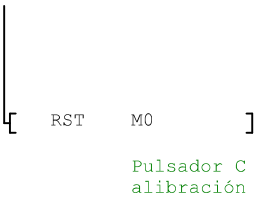
Figura 88

Relé para el frenado del servomotor

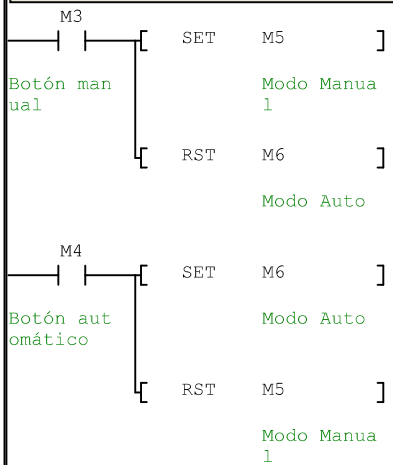


Nota. Este relé soporta una corriente de hasta 10 A y 250 VAC.

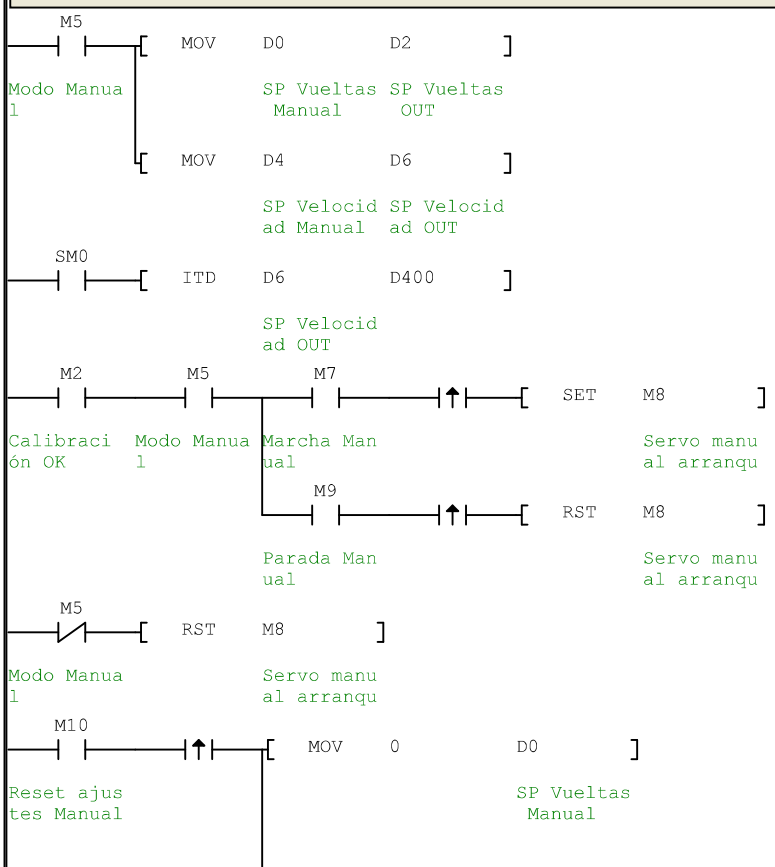
A continuación, se muestra la programación del PLC que fue exportada en formato PDF desde el software Auto Station y la configuración de los parámetros del servodrive, descargados del software Servoplorer.



/*SELECCIÓN DE MODO*/



/*MODO MANUAL*/

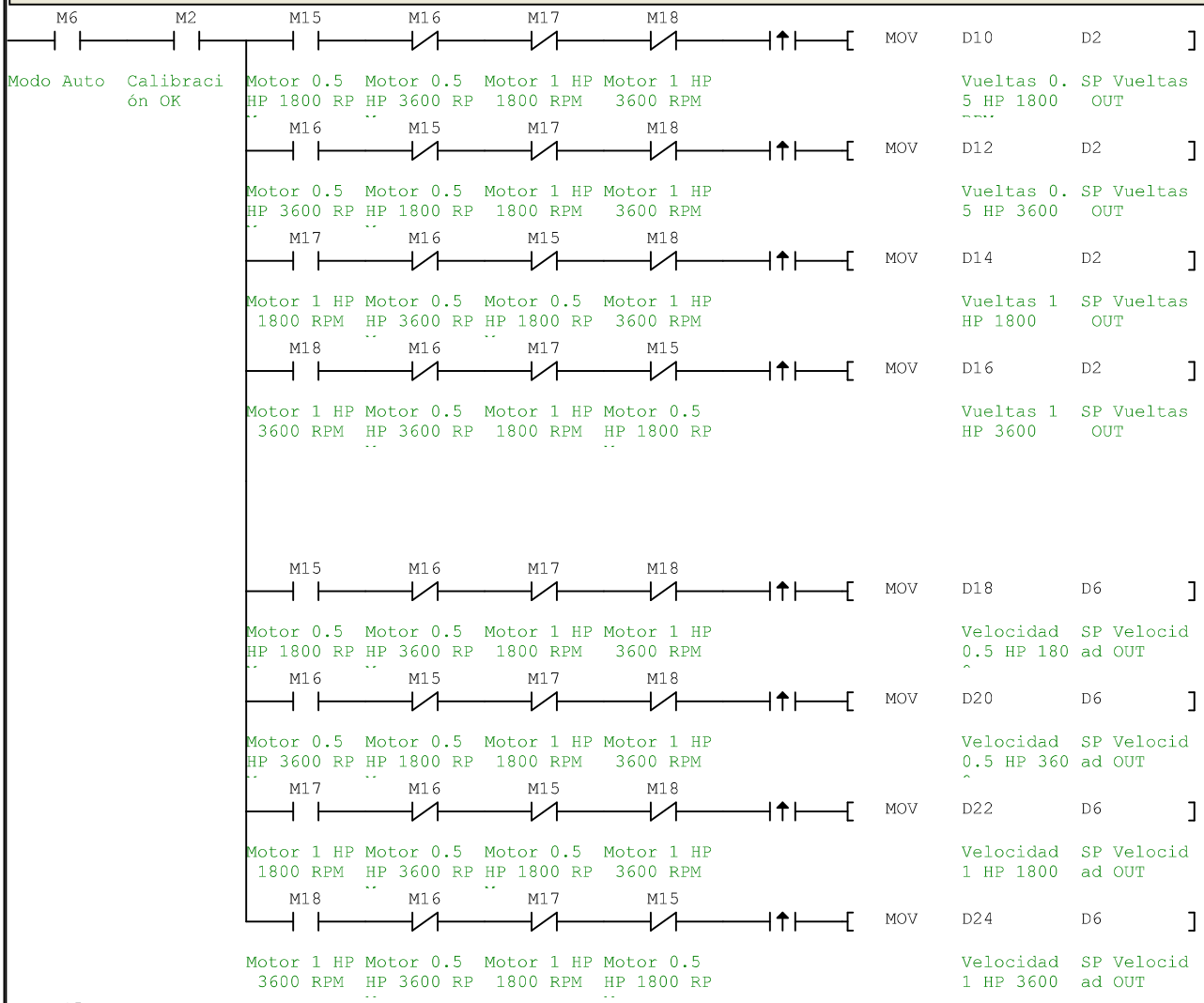


```

[ MOV 0 D4 ]
      SP Velocidad Manual
[ RST C0 ]
      Contador vueltas manual
[ RST M8 ]
      Servo manual al arranque

```

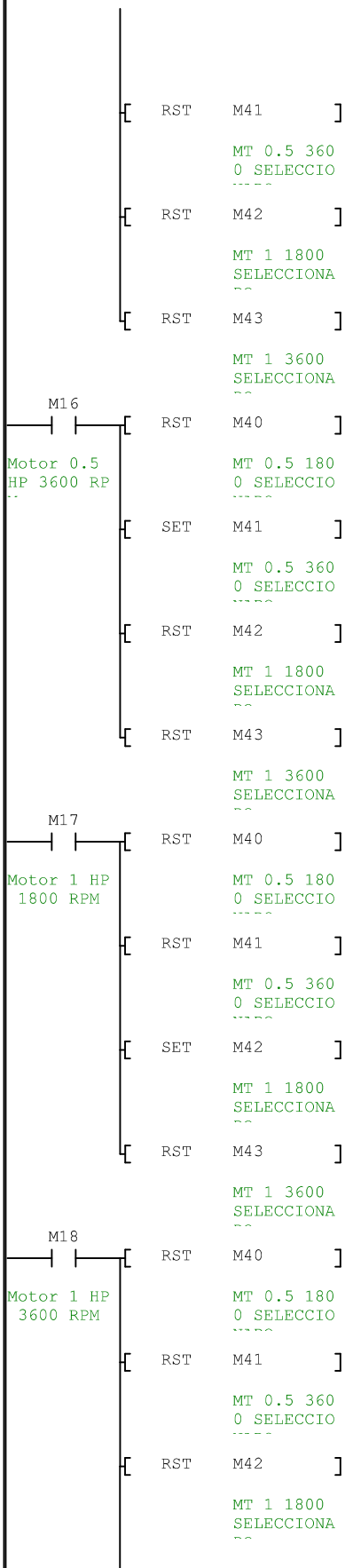
/*RECETA*/



```

M15 | | [ SET M40 ]
Motor 0.5 HP 1800 RP
      MT 0.5 180
      0 SELECCIO
      ^

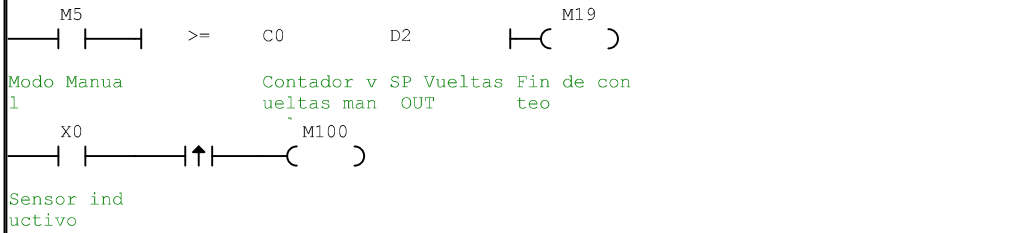
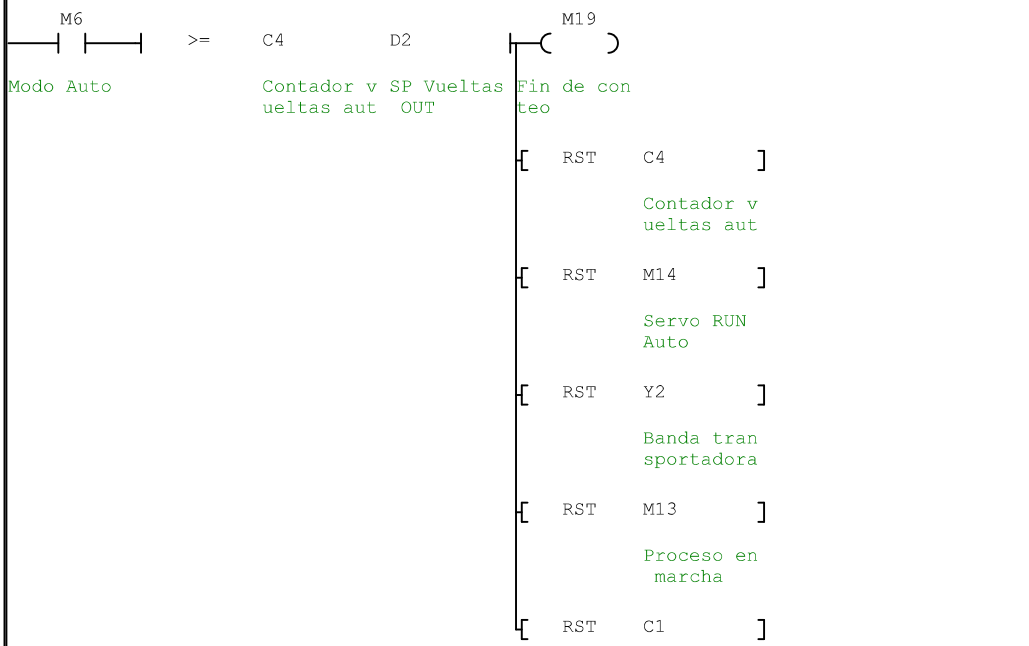
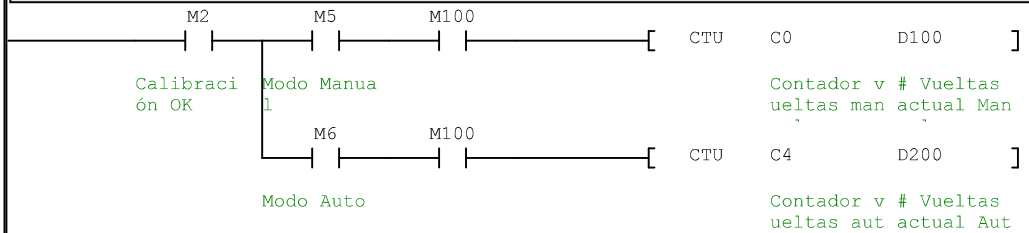
```



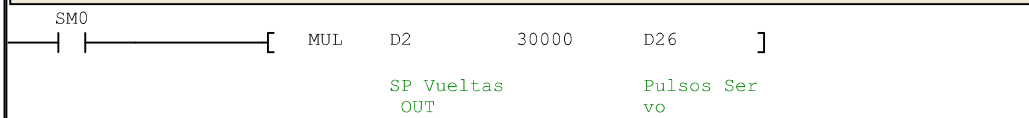
[SET M43]

MT 1 3600
SELECCIONA

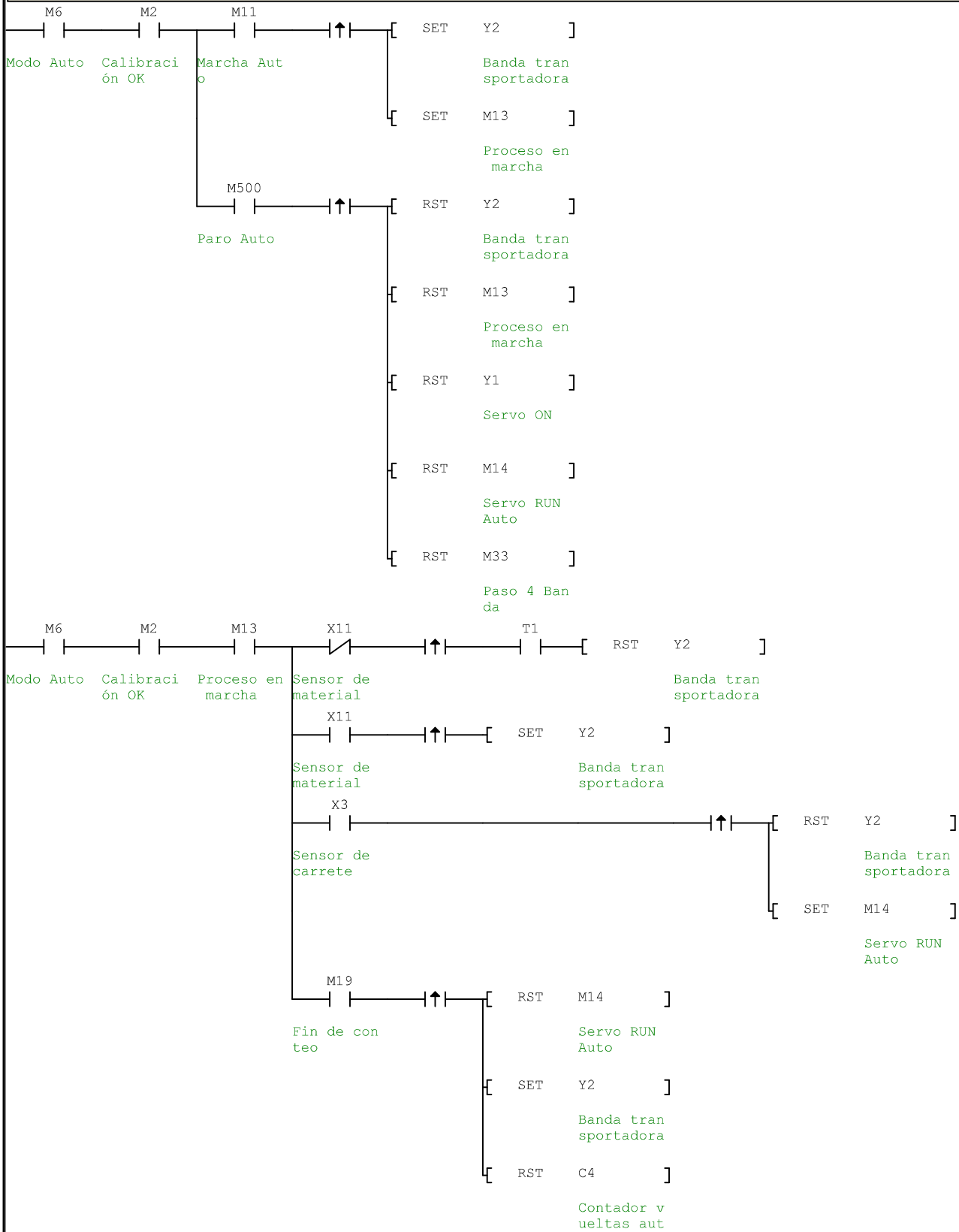
/*Contador de vueltas*/

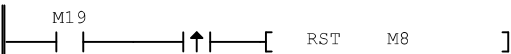


/*Convertir vueltas a pulsos (30000 pulsos = 1 vuelta)*/



/*Modo Auto Proceso*/

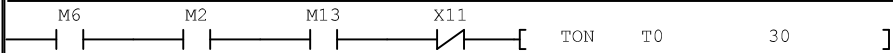




Fin de con
teo

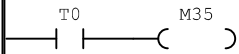
Servo manu
al arranqu

/*DETECCIÓN DE MATERIAL. TIEMPO DE ESPERA: 3 SEGUNDOS */

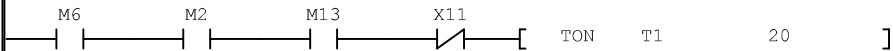


Modo Auto Calibraci
ón OK

Proceso en Sensor de
marcha material



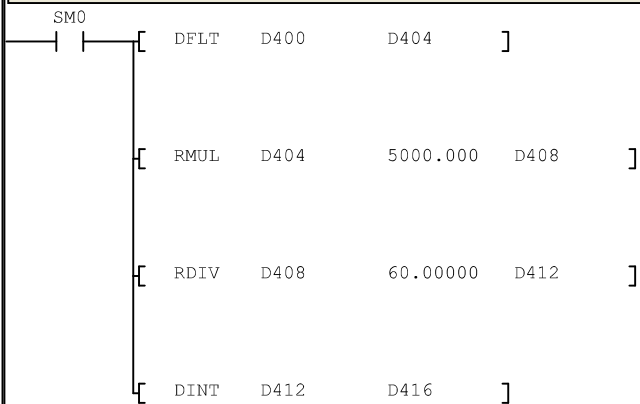
FALTA MATE
RIAL



Modo Auto Calibraci
ón OK

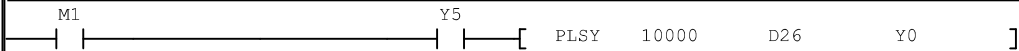
Proceso en Sensor de
marcha material

/*CONVERSION A RPM*/



HZ

/*MOVIMIENTO SERVO D26 PULSOS D6 VELOCIDAD - TREN DE PULSO PLSY*/



Movimiento
1 Calibra

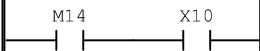
FRENO

Pulsos Ser
vo



Motor 1 HP
3600 RPM

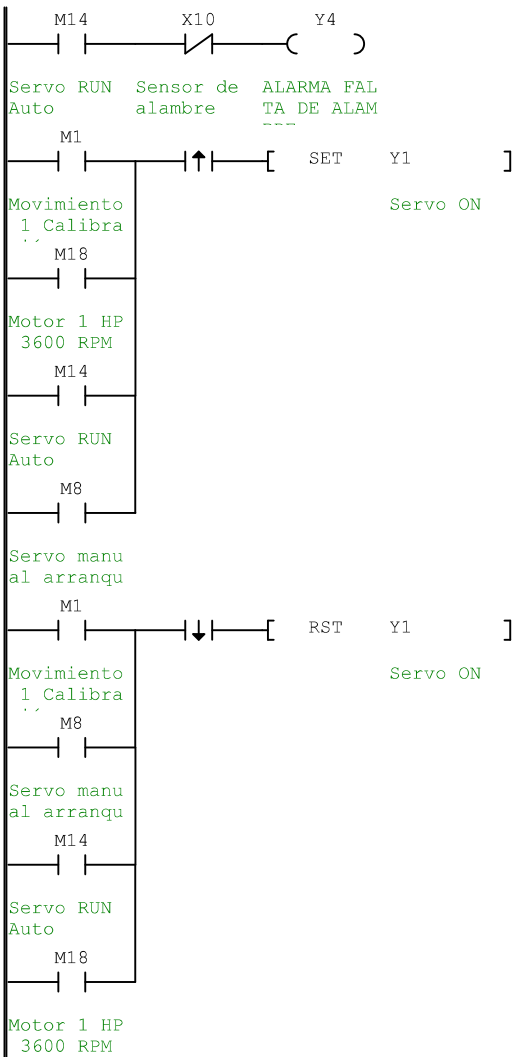
HZ Pulsos Ser
vo



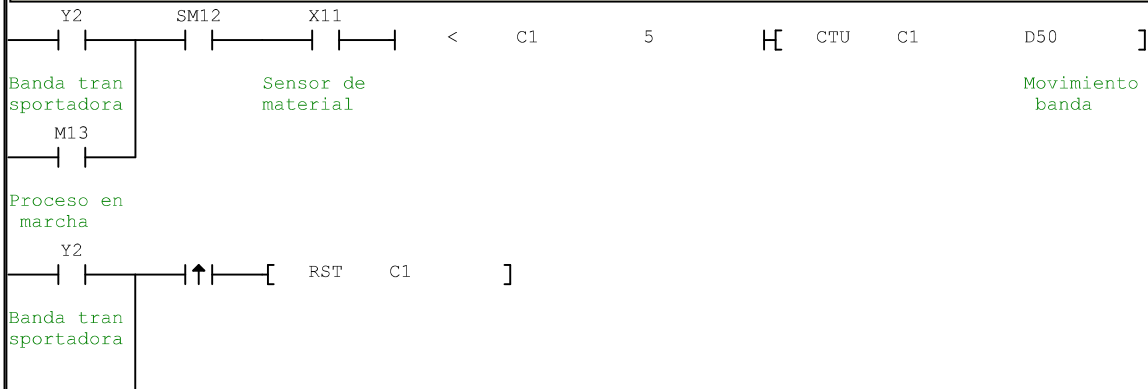
Servo RUN Sensor de
Auto alambre

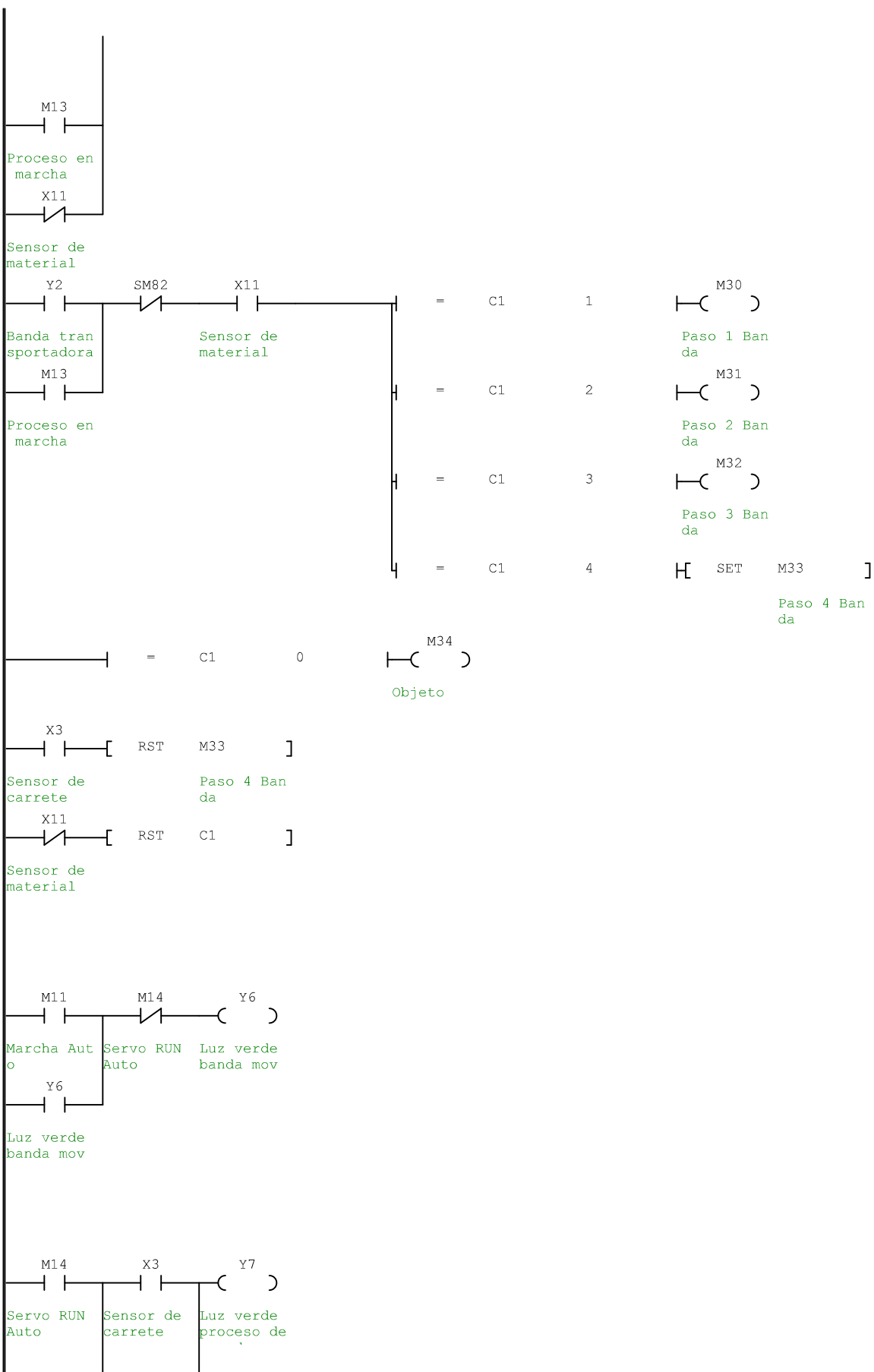


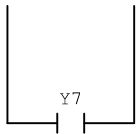
Servo manu
al arranqu



/*ANIMACIÓN BANDA*/

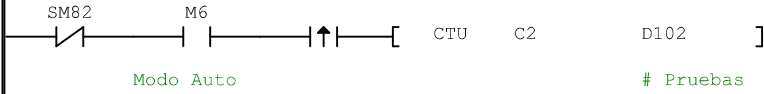




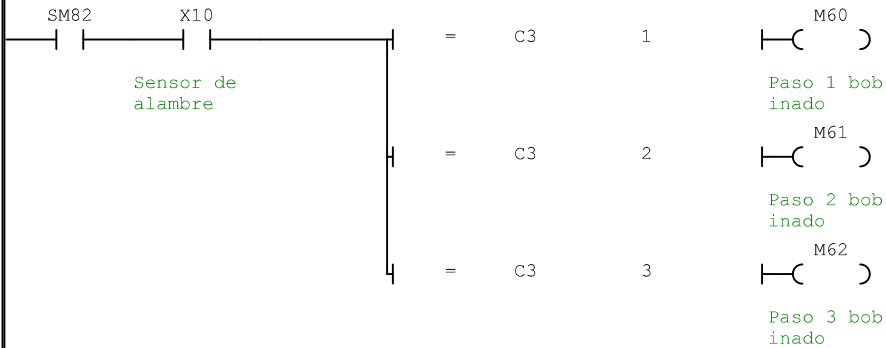
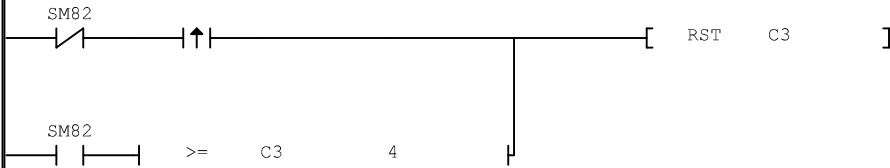
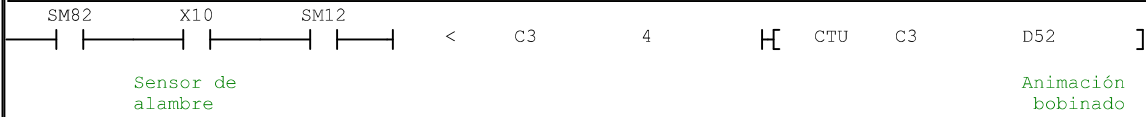


Luz verde
proceso de

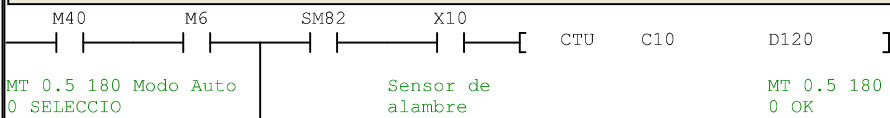
/*CONTADOR DE NÚMERO DE PRUEBAS*/

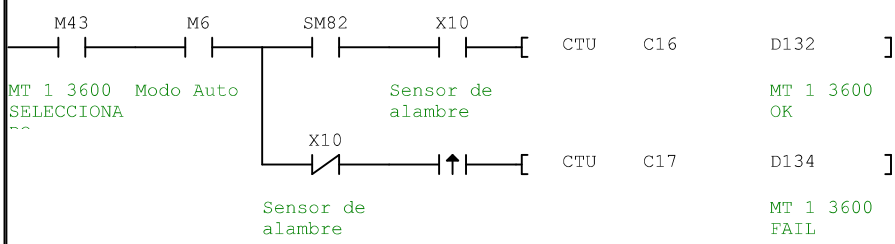
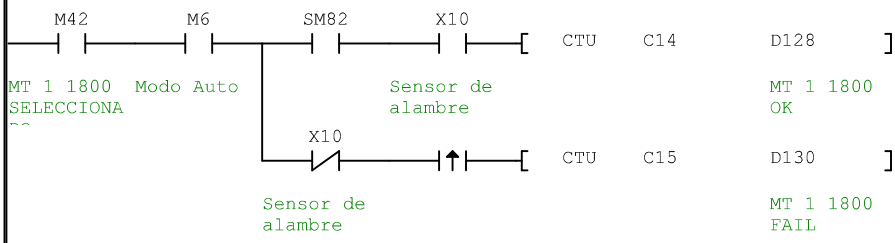
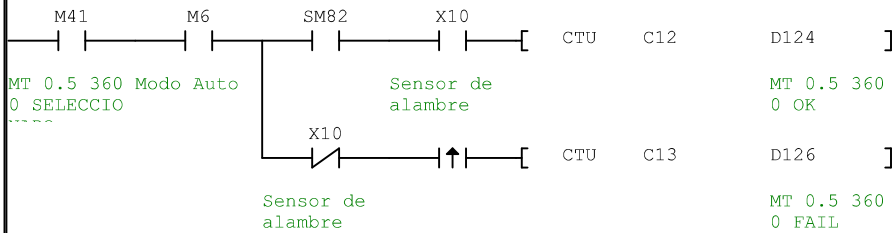
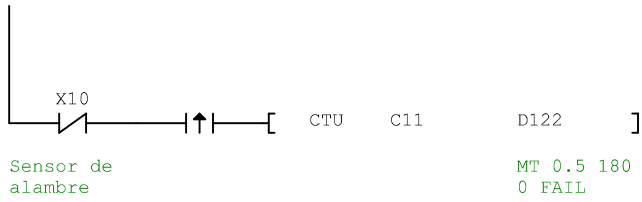


/*ANIMACIÓN BOBINADO*/

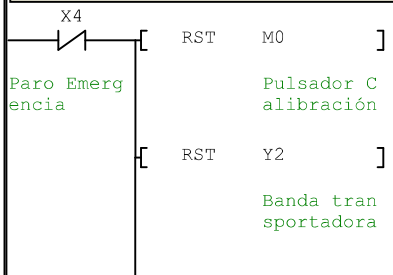


/*PRUEBAS Y VALIDACIONES*/





/*PARO DE EMERGENCIA*/



[RST Y6]

Luz verde
banda mov

[RST Y7]

Luz verde
proceso de

[RST M5]

Modo Manua
l

[RST M6]

Modo Auto

[RST M14]

Servo RUN
Auto

/*REPETIBILIDAD*/

SM0

[SUB C10 C11 C20]

[MUL C20 10 D138]

[DTI D138 D140]

REP 0.5HP
1800

SM0

[SUB C12 C13 C30]

[MUL C30 10 D144]

[DTI D144 D146]

REP 0.5HP
3600

SM0

[SUB C14 C15 C40]

[MUL C40 10 D150]

[DTI D150 D152]

REP 1HP 18
00

SM0 [SUB C16 C17 C50]

[MUL C50 10 D156]

[DTI D156 D158]

REP 3600HP
3600

Variable Name	Variable addr.	Comments
1		
2	M0	Pulsador Calibración
3	M1	Movimiento 1 Calibración
4	X0	Sensor inductivo
5	M2	Calibración OK
6	M3	Botón manual
7	M5	Modo Manual
8	M4	Botón automático
9	M6	Modo Auto
10	D0	SP Vueltas Manual
11	D2	SP Vueltas OUT
12	D4	SP Velocidad Manual
13	D6	SP Velocidad OUT
14	M7	Marcha Manual
15	M8	Servo manual arranque
16	M9	Parada Manual
17	M10	Reset ajustes Manual
18	M11	Marcha Auto
19	Y2	Banda transportadora
20	M12	Paro Auto
21	M13	Proceso en marcha
22	M14	Servo RUN Auto
23	D10	Vueltas 0.5 HP 1800 RPM
24	M15	Motor 0.5 HP 1800 RPM
25	M16	Motor 0.5 HP 3600 RPM
26	M17	Motor 1 HP 1800 RPM
27	M18	Motor 1 HP 3600 RPM
28	D12	Vueltas 0.5 HP 3600
29	D14	Vueltas 1 HP 1800
30	D16	Vueltas 1 HP 3600
31	D18	Velocidad 0.5 HP 1800
32	D20	Velocidad 0.5 HP 3600
33	D22	Velocidad 1 HP 1800
34	D24	Velocidad 1 HP 3600
35	C0	Contador vueltas manual
36	D100	# Vueltas actual Manual
37	D200	# Vueltas actual Auto
38	M19	Fin de conteo
39	Y1	Servo ON
40		
41	C4	Contador vueltas auto
42		
43	Y6	Luz verde banda mov
44	Y7	Luz verde proceso devanado
45	X4	Paro Emergencia
46		
47		
48	D26	Pulsos Servo
49	Y5	FRENO
50	X10	Sensor de alambre
51		
52	M30	Paso 1 Banda
53	M31	Paso 2 Banda
54	M32	Paso 3 Banda
55	M33	Paso 4 Banda
56		
57		
58	X3	Sensor de carrete
59	M40	MT 0.5 1800 SELECCIONADO
60	M41	MT 0.5 3600 SELECCIONADO
61	M42	MT 1 1800 SELECCIONADO
62	M43	MT 1 3600 SELECCIONADO
63	Y4	ALARMA FALTA DE ALAMBRE
64	X11	Sensor de material
65	M35	FALTA MATERIAL
66	C1	
67	D102	# Pruebas
68	D50	Movimiento banda
69	C3	
70	D52	Animación bobinado
71	M60	Paso 1 bobinado
72	M61	Paso 2 bobinado
73	M62	Paso 3 bobinado
74	C10	
75	D120	MT 0.5 1800 OK
76	C11	
77	D122	MT 0.5 1800 FAIL
78	C12	
79	D124	MT 0.5 3600 OK
80	C13	
81	D126	MT 0.5 3600 FAIL
82	C14	
83	D128	MT 1 1800 OK
84	C15	
85	D130	MT 1 1800 FAIL
86	C16	
87	D132	MT 1 3600 OK
88	C17	

	Variable Name	Variable addr.	Comments
89		D134	MT 1 3600 FAIL
90		M500	Paro Auto
91		M34	Objeto
92			
93		D140	REP 0.5HP 1800
94		D146	REP 0.5HP 3600
95		D152	REP 1HP 1800
96		D158	REP 3600HP 3600
97		D416	HZ

Function Code	Parameter Name	Current Value	* Unit	Min	Max	Default	Read/Write	Effective	Save Mode	F	P	S	T	Description
P0.00	Motor Type	236	-	0	9999999	236	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.01	Encoder type selection	2500 line stan	-	1	13	2500 line standard inc	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.02	Motor Forward Direction	CCW	-	0	1	CCW	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.03	Control Mode Selection	Position mode	-	0	9	Position mode	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.04	Internal servo enabling	Disable	-	0	1	Disable	INS	Unsa	Unsa	✓	✓	✓	✓	
P0.05	Jog speed	300	r/mi	0	1000	200	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.06	Numerator of encoder pulse o	10000	-	0	2147483	10000	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.07	Denominator of encoder pulse	10000	-	1	2147483	10000	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.08	Pulse feedback direction revers	Pulse output r	-	0	1	Pulse output reversing	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.09	Torque limit mode selection	1:Max Torque	-	0	6	1:Max Torque Limit1	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.10	1st Torque limit	300.0	%	0	500	300.0	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.11	2nd Torque limit	300.0	%	0	500	300.0	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.13	Power of the external braking	200	W	0	5000	200	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.14	Resistance of the external brak	60	Ω	1	1000	60	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.15	Default monitoring parameters	0	-	0	22	0	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.16	Parameters modification opera	Permitted	-	0	1	Permitted	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.17	EEPROM save mode selection	Individual sav	-	0	1	Individual save	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.18	Manufacturer password	0	-	0	65535	0	INS	Unsa	Unsa	✓	✓	✓	✓	
P0.20	Position command selection	Pulse input	-	0	4	Pulse input	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.22	Pulse counts per revolution	30000	puls	0	2147483	10000	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.23	Pulse input mode selection	Pulse+Directi	-	0	2	Pulse+Direction	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.24	Pulse input direction reversing	Positive	-	0	1	Positive	RS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.25	Numerator of the 1st electroni	0	-	0	2147483	0	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.26	Denominator of the electronic	10000	-	1	2147483	10000	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.27	Numerator of the 2nd electroni	0	-	0	2147483	0	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.28	Numerator of the 3rd electroni	0	-	0	2147483	0	INS	Save	Save	✓	✓	✓	✓	

Function Code	Parameter Name	Current Value	* Unit	Min	Max	Default	Read/Write	Effective	Save Mode	F	P	S	T	Description
P0.29	Numerator of the 4th electroni	0	-	0	2147483	0		INS		✓	✓			
P0.33	Position command LPF filter ti	0.0	ms	0	1000	0.0		ST		✓	✓			
P0.34	Position command FIR filter tim	0.0	ms	0	1000	0.0		ST		✓	✓			
P0.35	Positive position software limit	0	puls	-2147483	2147483	0		INS		✓	✓			
P0.36	Negative position software limi	0	puls	-2147483	2147483	0		INS		✓	✓			
P0.37	Position control mode selection	Incremental	-	0	1	Incremental		INS		✓	✓			
P0.38	Full close loop mode	Disable	-	0	2	Disable		RS		✓	✓			✓
P0.40	Speed command selection	BUS input	-	0	5	Analog input		INS			✓			
P0.41	Speed command derection sel	S-SIGN invali	-	0	1	S-SIGN invalid		INS			✓			
P0.42	Gain of Analog input 1	100	-	10	2000	100		INS			✓			
P0.43	Polarity of Analog input 1	Positive	-	0	1	Positive		INS			✓			
P0.45	Dead zone of Analog input 1	0.000	V	0	3	0.000		INS			✓			
P0.46	Internal speed command 1 / s	100	r/mi	-20000	20000	100		INS			✓			✓
P0.47	Internal speed command 2 / s	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			✓
P0.48	Internal speed command 3 / s	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			✓
P0.49	Internal speed command 4 / s	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			✓
P0.50	Internal speed command 5	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			
P0.51	Internal speed command 6	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			
P0.52	Internal speed command 7	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			
P0.53	Internal speed command 8	0	r/mi	-20000	20000	0		INS			✓			
P0.54	Acceleration time	0	ms	0	30000	0		INS			✓			
P0.55	Deceleration time	0	ms	0	30000	0		INS			✓			
P0.56	Acceleration S curve time	0	ms	0	1000	0		INS			✓			
P0.57	Deceleration S curve time	0	ms	0	1000	0		INS			✓			
P0.58	Zero speed clamping mode sel	0	-	0	3	0		INS			✓			✓
P0.59	Zero speed clamping speed thr	30	r/mi	10	20000	30		INS			✓			✓

Function Code	Parameter Name	Current Value	* Unit	Min	Max	Default	Read/Write	Effective	Save Mode	F	P	S	T	Description
P0.60	Torque command selection	BUS input	-	0	3	Analog input		INS	Save				✓	
P0.61	Torque command derection sel	T-SIGN invali	-	0	1	T-SIGN invalid		INS	Save				✓	
P0.62	Gain of Analog input 2	100	-	0	2000	100		INS	Save				✓	
P0.63	Polarity of Analog input 2	Positive	-	0	1	Positive		INS	Save				✓	
P0.65	Dead zone of Analog input 2	0.000	V	0	3	0.000		INS	Save				✓	
P0.66	Internal torque command	0.0	%	-500	500	0.0		INS	Save				✓	
P0.67	Speed limitation source selecti	Internal speed	-	0	1	Internal speed limit		INS	Save				✓	
P0.68	Torque command ramp time	0	ms	0	10000	0		INS	Save				✓	
P0.69	Quick stop time	500	ms	0	10000	500		INS	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.70	Speed limitation source selecti	Single-turn ab	-	0	1	Single-turn absolute		RS	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.71	Absolute encoder clear turns	Disable	-	0	1	Disable		INS	Unsa	✓	✓	✓	✓	
P0.90	Control mode switch speed lim	100	r/mi	1	1000	100		INS	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.91	Control mode switch positionin	-1	puls	-1	2147483	-1		INS	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.92	Exit mode from position contro	Switch after I	-	0	1	Switch after INP		INS	Save	✓	✓	✓	✓	
P0.99	Speed detection Fir filter order	1	-	1	31	1		INS	Save	✓	✓	✓	✓	