

ÍNDICE MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA	1
Resum	5
Resumen	5
Abstract.....	6
Agradecimientos	7
CAPÍTULO 1: Introducción	9
1.1. Objetivos	9
1.2. Motivación	10
1.3. Alcance	11
1.4. Antecedentes	12
1.5. Estructura de la Memòria	13
CAPÍTULO 2: Análisis de mejoras para los marcadores	15
2.1. Modo de operación y problemática actual.....	15
2.2. Ajuste en tabla de alimentación	20
2.3. Mejora de ajuste de guías.....	22
2.4. Detección fin de carga de papel.....	22
2.5. Control fallo de pliego.....	25
2.6. Falta de aviso de fallos	26
CAPÍTULO 3: Análisis de mejoras para la cosedora	27
3.1. Modo de operación y problemática actual.....	27
3.2. Detección de pliegos torcidos y desalineados	32
3.3. Detección de fallo de grapa	33
3.4. Localización del fallo	33
CAPÍTULO 4: Análisis de mejoras para la guillotina trilateral	35
4.1. Modo de operación y problemática actual.....	35
CAPÍTULO 5: Mejoras finales para los marcadores	39
5.1. Motores para ajuste en tabla de alimentación.....	39
5.2. Detección fin de carga de papel.....	45
5.3. Control fallo de pliego.....	48
5.4. Falta de aviso de fallos	52
CAPÍTULO 6: Mejoras finales para la cosedora	53

6.1. Detección de fallo de grapa	53
6.2. Localización del fallo	55
CAPÍTULO 7: Análisis del problema a automatizar	57
7.1. Equipos y Sistemas.....	57
7.2. Requisitos funcionales	62
7.3. Metodología de desarrollo y planificación de tareas.....	62
7.4 Recursos	66
CAPÍTULO 8: Implementación de la solución	67
8.1. Arquitectura del sistema de control	67
8.2. Codificación de elementos y sistemas	73
8.3 Tipos y Fichero de intercambio PLC – SCADA	76
8.4. Simulación de la planta	78
8.5. Programa del controlador	88
8.6. Programa del Software SCADA	100
8.7. Pruebas y resultados.....	113
CAPÍTULO 9: Normativa	115
9.1. IEC - 61131	115
9.2. ISA – S5.1.....	116
9.3. Guia GEDIS	116
9.4. Otras normativas.....	116
CAPÍTULO 10: Conclusiones	117
CAPÍTULO 11: Bibliografía	119
11.1 Referencias bibliográficas	119
11.2 Bibliografías de consulta	120

RESUM

En aquest projecte s'ha realitzat una millora i automatització d'una màquina Müller Martini Grapadora Alçadora Industrial del procés de les arts gràfiques dedicada a l'enquadració grapada. La màquina es troba a un taller d'arts gràfiques a la Zona Franca de Barcelona, el nom de l'empresa es Auxigraf S.L.

La millora ha contemplat l'estudi de la màquina (manuals mecànics i elèctrics). Una vegada adquirits els coneixements gràcies als manuals i les visites al taller, es plantegen millores s'escullen les millors i es descarten les altres. Finalment s'implementen escollint tots els elements necessaris i es representen amb SolidWorks.

L'automatització inclou programació del PLC mitjançant RSLogix 5000 d'Allen Bradley i panell SCADA amb el software InTouch de Wonderware. S'ha dibuixat tota la simbologia que apareix al SCADA, ja que aquest no disposa de símbols per a processos d'aquest tipus. Tota la programació ha sigut simulada de forma embeguda al mateix PLC tot intentant que s'apropi el màxim a la realitat. Les comunicacions són dutes mitjançant RSLinx i el protocol de comunicació per plataformes Windows DDE.

RESUMEN

En el presente proyecto se ha realizado una mejora y automatización de una máquina Müller Martini Grapadora Alzadora Industrial del proceso de las artes gráficas dedicada a la encuadración grapada. La máquina se encuentra en un taller de artes gráficas en la Zona France en la empresa Auxigraf S.L.

La mejora ha contemplado el estudio de la máquina (manuales mecánicos y eléctricos). Una vez adquiridos los conocimientos gracias a los manuales y visitas al taller, se plantean las mejoras, se escogen las mejores y se descartan las otras. Finalmente se implementan escogiendo todos los elementos necesarios i se representan en SolidWorks.

La automatización incluye programación del PLC mediante RSLogix 5000 d'Allen Bradley y panel SCADA con el software InTouch de Wonderware. Se ha dibujado toda la simbología que aparece en el SCADA ya que este no dispone de símbolos para procesos de este tipo. Toda ha sido simulada de forma embebida en el propio PLC intentando siempre que se acerque lo máximo a la realidad. Las comunicaciones se llevan a cabo mediante RSLinx y el protocolo de comunicación para plataformas Windows DDE.

ABSTRACT

In this project it has been made an improvement and automation of a Müller Martini Saddle Stitcher Machine used for the graphic arts process and dedicated to staple bind. The machine is located in a studio in Zona Franca, the name of the business is Auxigraf S.L.

The improvement has contemplated the study of the machine (mechanical and electrical manuals). Once it has been acquired all the knowledge thanks to the manuals and the studio visits the improvements are set out, then the best are chosen and the others are rejected. Finally, all the improvements are implemented choosing the best parts and there are represented with SolidWorks.

The automation includes PLC programming with RSLogix 5000 of Allen Bradley and the interface is and SCADA made with InTouch by Wonderware.

The simulation is included in the PLC software and communications are implemented using RSLinx and DDE protocol.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutor del trabajo, Javier Gámiz Caro la ayuda que me ha brindado para poder realizar este proyecto solventando mis dudas en la medida de lo posible.

También quiero agradecer a mi pareja Cristina Pérez y a mis padres su apoyo moral continuo, su interés en mi trabajo y por haberme facilitado mucho las cosas durante estos meses cuando no tenían ninguna obligación.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es introducir el proyecto realizado a los lectores, indicando los objetivos, la motivación, el alcance y la estructura de la memoria. Sirve para hacerse una idea general del contenido del proyecto.

1.1. Objetivos

Actualmente existe multitud de maquinaria relacionada con el sector de las artes gráficas (prensas, plegadoras, guillotinas, encuadernadoras, etc.)

La encuadernación grapada ofrece una imagen dinámica, flexible y ligera, pues suele utilizarse en revistas periódicas que el grosor de la revista cerrada no supere los 5 mm. Es un tipo de encuadernación rápida y profesional que permite abrir completamente la revista, facilitando tanto la lectura como la visualización de fotos que vayan de página a página. Es ideal para revistas que queramos que "circulen" entre los lectores, con las que puedan sentirse cómodos para leer en cualquier sitio.

La realización del presente proyecto se centra en una propuesta de mejora de una máquina Müller Martini Grapadora Alzadora Industrial (actuadores, sensores y sistema de control) así como la automatización de dicha máquina y la creación de un panel SCADA que permita al operario facilitar su tarea. La máquina pertenece a un taller de artes gráficas de la Zona Franca de Barcelona y ha quedado bastante anticuada es por eso que se realiza la mejora.

Dentro de las máquinas de encuadernación grapada existen diferentes estaciones, teniendo cada una su función específica. En el caso del trabajo presentado se tiene:

Tabla 1. Estaciones máquina Müller Martini.

1	Marcadores
2	Cosedora
3	Guillotina trilateral
4	Salida

Los objetivos del presente proyecto son:

- Realizar un estudio del sistema de control, sensores y accionamientos actual.
- Plantear las posibles soluciones y extraer las conclusiones adecuadas.
- Presentar el diseño de mejora para las diferentes estaciones de la máquina.
- Automatización de la máquina mediante el software RSlogix 5000.
- Creación de un panel SCADA mediante el software InTouch de Wonderware.
- Presupuesto de las mejoras introducidas en la máquina y coste de la automatización más su respectiva interface.



Figura 1. Máquina Müller Martini Grapadora Alzadora Industrial con salida en cinta.

1.2. Motivación

Las máquinas que se usan para procesos de artes gráficas son múltiples y variadas. Sin embargo, para el tema de encuadernación grapada no es el mismo caso, aunque existen máquinas nuevas (pocas) son excesivamente caras (rondan el millón de euros).

Con este trabajo se plantearán mejoras suficientes para la máquina que no incrementarían tanto el precio y que pueden ser muy útiles para el operario. Además, la programación reflejará estas mejoras e incorporará otras mejoras de software. También se realizará una pantalla SCADA pues la máquina actual no dispone (las máquinas nuevas disponen de HMI).

Realizar una mejora y luego programar supone una gran oportunidad de aprender como funciona una máquina real por dentro entendiendo todos los mecanismos eléctricos y mecánicos que dispone. Al tener una máquina real al alcance se puede ver como funciona y escudriñar por dentro para ver qué elementos intervienen.

Este trabajo supondrá un gran aprendizaje de cara a diseñar máquinas, entender esquemas eléctricos reales, programar lo más posible a la realidad teniendo en cuenta todo lo que incumbe a la máquina (aunque se trata de una simulación, se aproximará bastante a la realidad).

1.3. Alcance

En el presente proyecto se realiza la mejora y automatización de una maquina Müller Martini Grapadora Alzadora Industrial. Inicialmente se separará la máquina en estaciones y se describirá el modo de operación o funcionamiento de cada una así como de la problemática actual que tienen.

La mejora se basará en un estudio de los elementos que forman las diferentes partes de la máquina (sensores y actuadores existentes) y a partir de esto se realizará una selección oportuna de elementos que permitan mejorar la productividad, seguridad, control y supervisión de dicha máquina. Se implementará la mejora con SolidWorks para que se pueda ver que se está haciendo.

Para llevar a cabo esto es necesario incorporar ciertos elementos mecánicos i/o hacer modificaciones en las estaciones. Estos cambios mecánicos se indicarán detalladamente mediante el diseño y la instalación, pero no se entrará en el cálculo i/o dimensionamiento de cada caso. Para simplificar el trabajo y centrarse en la parte importante que es la mejora y la automatización se dejarán a parte ciertos cálculos mecánicos necesarios, pero se indicarán.

La automatización de la máquina se hará con el software proporcionado en clase RSlogix 5000 y la simulación será embebida. La máquina es completamente automática, excepto el sistema de lubricación centralizado que es semiautomático. El sistema SCADA se realizará con el software InTouch de Wonderware para que el operario encargado pueda supervisar y controlar la máquina. Dado que InTouch no dispone de símbolos gráficos que puedan describir el proceso se tendrán que realizar todos desde cero. Para asegurar el buen funcionamiento se realizará un conjunto de pruebas de funcionamiento.

1.4. Antecedentes

1.4.1. Historia tecnológica

La máquina cosedora de bloques y revistas B-1 representa el primer paso en la dirección hacia la industria gráfica. Ideal para realizar trabajos de grapado, hasta 1989 se produjeron un total de 3257 unidades.

En 1950 Hans Müller construye la primera embuchadora-cosedora basándose en la B-1. La máquina ya incorpora marcadores de pliegos automáticos, lo que permite aprovechar toda la velocidad de la máquina.

En 1954 sale al mercado mundial la primera embuchadora-cosedora de revistas completamente automática, la BSV (4000 ciclos/h). Esta máquina combina tres tipos de máquina (marcador, cosedora y guillotina trilateral) en un único sistema racional integrado. En 1956 se utilizan por primera vez los innovadores "cabezales cosedores flotantes" patentados por Hans Müller que permiten que los cabezales cosedores de marcha simultánea realicen el cosido sin "Stop and go" ("parar y rearmar").

En los años 60, la evolución de las tiradas de las revistas líderes plantea unos requisitos cada vez más estrictos a la capacidad de producción. Para afrontar este reto, a partir de 1958 se desarrolla la nueva línea de tres tipos de embuchadoras-cosedoras JG. En comparación con la JG estándar con encarte manual, el segundo modelo, JG-2, ya incorporaba control de grosor, desvío de evacuación para folletos incompletos, así como también un dispositivo contador. JGV era una línea de embuchado-cosido con marcadores automáticos con una guillotina trilateral DSS integrada y que alcanzaba una capacidad récord de 10.000 ciclos/h. La generación JG contribuyó en gran medida a situar a Grapha como la empresa líder del mercado: en total, hasta los años 70 se fabricaron más de 2.000 máquinas. La cuota de mercado europeo conseguida superó el 90%.

Con el inicio de la producción de la nueva generación de embuchadoras-cosedoras 221/235, Müller Martini volvió a adelantarse a la competencia. Los modelos más avanzados alcanzaban los 12.000 ciclos/h y además podían integrarse en una línea de embuchado-cosido completamente automática. La serie 221 con capacidad para 8.000 ciclos/h se diseñó para talleres de impresión de tamaño medio y pequeño.

En 1994 se incorporó una novedad mundial, el sistema Amrys (*Automatic Make Ready System*) en la embuchadora-cosedora Prima. El sistema de preajuste automático reducía los tiempos de cambio de formato a la mitad. Las series de embuchadoras-cosedoras Prima (14.000 ciclos/h) y Bravo (12.000 ciclos/h) también resultaron un completo éxito: hasta 2007 se suministraron más de 2.500 unidades.

El concepto de estructura modular de sistemas aplicado de forma racional ya desde un principio en los equipos Müller Martín ofrece a los clientes desde hace muchos años la flexibilidad que necesitan para adaptarse con rapidez a los cambios del mercado.

1.4.2. Realizaciones parecidas existentes en el mercado

Este proyecto está basado en una máquina real muy poco conocida por la población, aunque en el sector de las artes gráficas tiene mucha importancia. Es por esto que no existe apenas información en internet, únicamente los fabricantes de artes gráficas más importantes como Müller Martini y Harris tienen toda la información referente a las máquinas. No se ha podido pues encontrar ningún trabajo del ámbito del proyecto realizado ni cercano a este pues la información es escasa. El proyecto se ha tenido que realizar todo basándose en manuales mecánicos y eléctricos prestados en un taller de artes gráficas y gracias a la información que los operarios han brindado, a partir de la interpretación de todos los datos se ha realizado una programación y un panel SCADA ergonómico de cara al usuario con prácticamente todos los símbolos y dibujos realizados por cuenta propia.

1.5. Estructura de la Memòria

La memoria se ha estructurado en tres partes, introducción, mejora y automatización.

El capítulo 1 lo compone la introducción: objetivos, motivación, alcance, antecedentes y estructura de la memoria.

La mejora se compone del capítulo 2 al 6 incluidos. Los capítulos 2, 3 y 4 muestran la problemática actual de cada estación (marcadores, cosedora, cortadora) y un análisis de posibles soluciones. En los capítulos 5 y 6 se adopta soluciones de cada estación y se detalla el procedimiento a seguir.

La automatización va del capítulo 7 al 9 incluidos. El capítulo 7 muestra el análisis de problema actual de cara a la automatización. En el capítulo 8 aparece la implementación de cara al PLC y SCADA. El capítulo 9 recoge la normativa utilizada de cara a la automatización.

Por último, el capítulo 10 y 11 muestran las conclusiones y la bibliografía correspondientemente.

CAPÍTULO 2:

ANÁLISIS DE MEJORAS

PARA LOS MARCADORES

A continuación, se observa el modo de funcionamiento de la estación de marcadores, así como el planteamiento de mejoras y alternativas para mejorar el sistema actual y corregir problemas.

2.1. Modo de operación y problemática actual

2.1.1. Alimentación de pliegos y retirada de papel

El operario debe cargar manualmente los pliegos (2C) hacia adelante en la tabla de alimentación (2B) entre la parada (2E) y su simétrica de tal manera que las cabezas de los pliegos estén orientadas hacia el lado derecho.

Dos boquillas aspiradoras o ventosas (3aF) separan el pliego inferior del resto de la pila y lo balancean hacia abajo. A continuación, es controlado por unas pinzas (3aG) del tambor (3aH) y es transferido a unas guías (porta pliegos) a través de la rotación continua del tambor.

Las guías tienen topes (3aC) / (3bA) que deben ser ajustados previamente (se pueden colocar rectos o en línea oblicua) acorde al tamaño y tipo de pliego. Además, están colocados unos rodillos de transporte (3aB) / (3bB) que están bajo presión y son desplazables, su función es la de transportar el pliego hasta el tope. El pliego queda preparado para ser cogido por las pinzas o bien por las ventosas dependiendo de su formato.

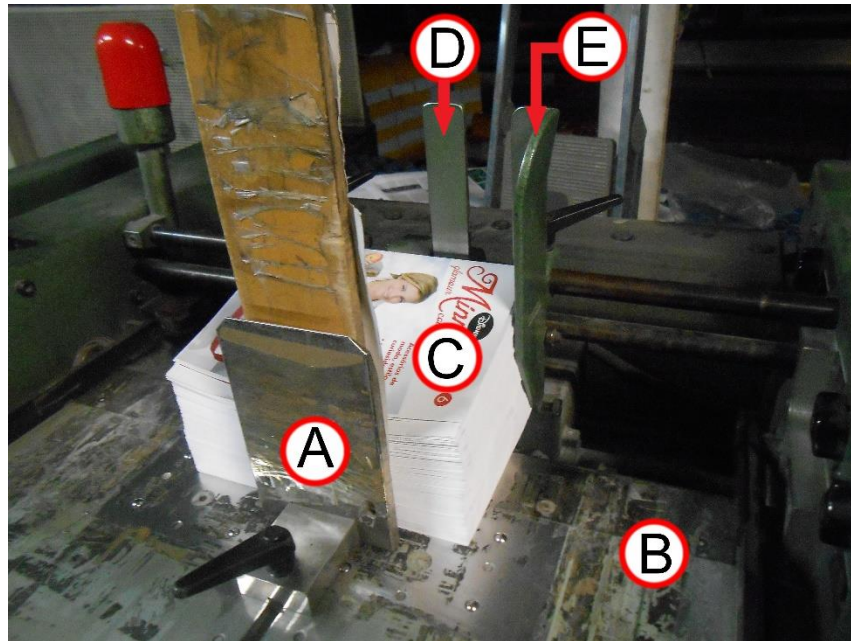


Figura 2. Tabla de alimentación del Marcador cargada con pliegos ajustados por topes.

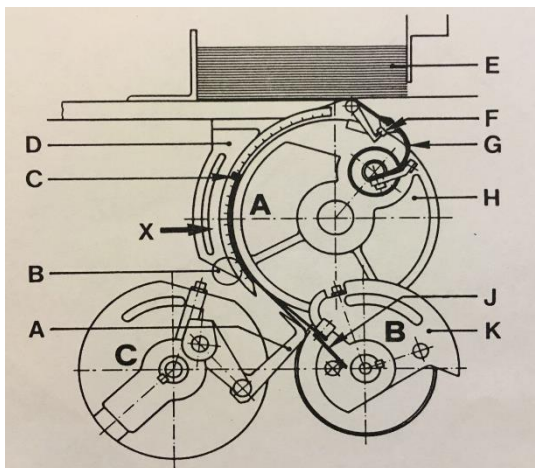


Figura 3a. Dibujo funcionamiento sistema de ventosas-pizas-tambores del Marcador

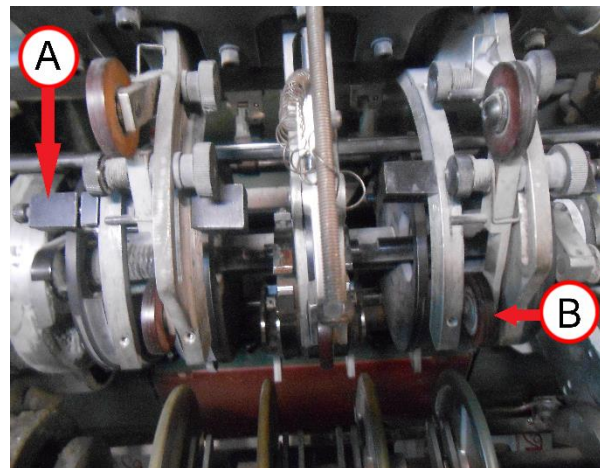


Figura 3b. Vista detalle interior del Marcador.

2.2.2 Apertura de pliegos a partir del formato

Para pliegos con doblez posterior las pinza (3aA) presionan el pliego contra el tambor (3aK) de forma que las pinza (3aJ) puedan sostener y manejar el doblez posterior. Entonces la pinza (4A) sostiene la pata corta del pliego de tal manera que este se abre y va cayendo gracias a los tambores que van girando. El pliego acaba finalmente cayendo en la cadena colectora (4D) y es empujado por los portadores de dicha cadena.

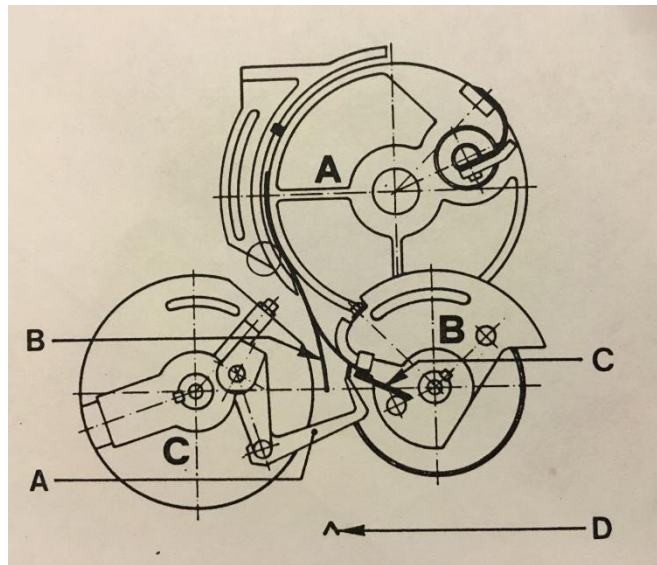


Figura 4. Dibujo funcionamiento caída papel según formato.

Para pliegos sin doblez posterior (pliegues paralelos) los topes (5B) / (5A) se colocan arriba de tal manera que las pinzas de los ejes (5C) y (5B) no puedan alcanzar el pliegue. La apertura del pliegue se realizará mediante boquillas aspiradoras (dos ventosas) (5A) y (5C) que están colocadas exactamente opuestas la una de la otra.

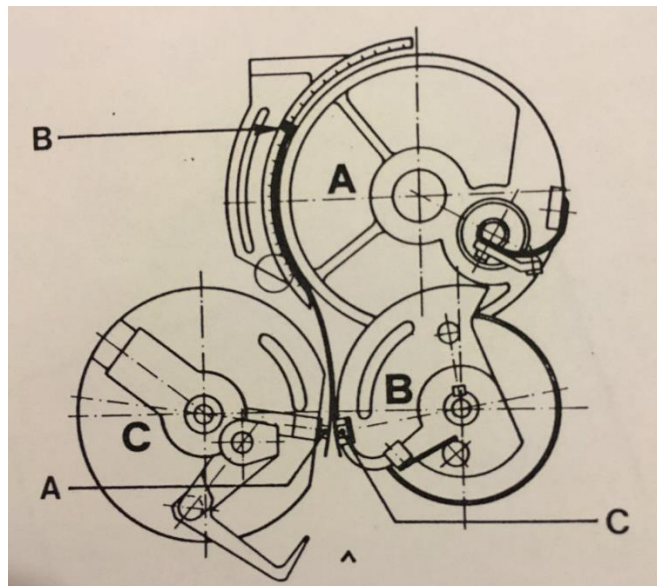


Figura 5. Dibujo funcionamiento apertura pliegos.

2.2.3 Cambio de marchas

Con la palanca del cambio de marchas se puede conmutar y desconectar el marcador. Las posiciones indicadas en el letrero indicador son:

- 0 = El marcador está mecánicamente desembragado (desacoplado)
- 1:1 = Para cada paso de la cadena colectora se coloca un pliego
- 1:2 = Sólo por cada dos pasos de la cadena colectora se coloca un pliego



Figura 6. Embrague para fijación mecánica de Marcador.

2.2.4 Preseleccionador de marcador

Si no se precisa de un marcador y está desacoplado mecánicamente, se debe colocar el conmutador en la posición O, ya que sino el equipo no arrancaría. Si se coloca de nuevo el marcador, se ha de volver a girar el conmutador en la posición I.

2.2.5 Pulsador de emergencia

Cada marcador dispone de un pulsador (T) de emergencia. Accionándolo se para el equipo. Antes de volverlo a poner en marcha se ha de desbloquear el pulsador tirando hacia afuera.



Figura 7. Cuadro mandos Marcador. Formado por seleccionador y Paro de Emergencia.

2.2.6 Aviso de fallos

La luz roja de cada marcador se enciende solo si se abre el capot trasero, el delantero o bien la tabla de alimentación. La luz se queda encendida hasta que el microinterruptor deja de detectar.



Figura 8. Vista en detalle de lámpara de aviso del marcador

2.2.5 Análisis de problemas

La estación descrita en los subapartados anteriores pese a funcionar de forma correcta no está blindada de cara a posibles errores o accidentes que puedan surgir en su funcionamiento, cabe decir que la parte mecánica es buena, pero necesita de electrónica para poder solventar ciertos aspectos. Como problemas de la estación actual tenemos:

- Problema de ajuste en tabla de alimentación.
- Problema de ajuste de guías.
- Problema fin de carga de papel.
- Problema fallo de pliego.
- Problema en el aviso de fallos.

Además de los problemas mencionado anteriormente se puede instalar un botón de marcha en cada marcador para evitar tener que ir al mando central y ahorrar tiempo al operario.

A continuación, se introducirá un análisis de mejoras y alternativas propuestas para corregir los problemas anteriores y en un capítulo posterior indicará y justificará la solución tomada.

2.2. Ajuste en tabla de alimentación

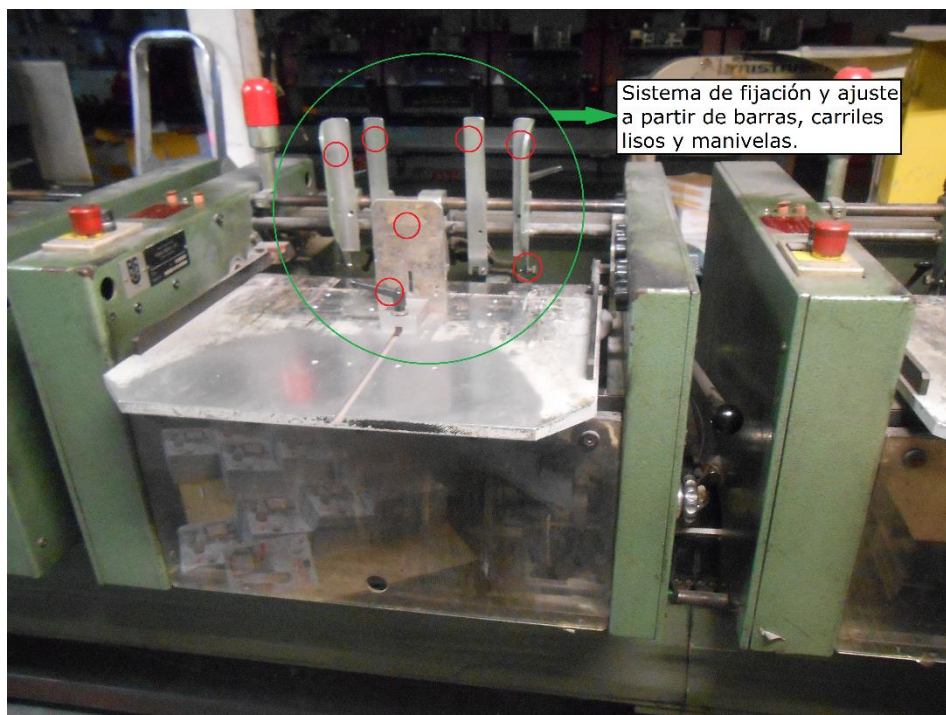


Figura 9. Antigo sistema de ajuste para la tabla de alimentación.

2.2.1. *Ámbito de la aplicación y justificación de mejora*

Actualmente el ajuste de pila en la tabla de alimentación es totalmente manual y se realiza mecánicamente. Cabe decir que es un proceso pesado y repetitivo donde un único operario normalmente se debe de encargar de ajustar uno a uno cada marcador produciéndose así ciertos tiempos de espera en el inicio de una tirada específica de pliegos (la puesta en marcha completa puede tardar una hora)

Esto puede ser solventado añadiendo dos motores de reducido tamaño que permitan ajustar la pila y hacer unas pequeñas modificaciones mecánicas. Esto solventaría la repetitiva tarea mecánica de ajuste en cada marcador (existen máquinas desde 2 a 6 marcadores) individualmente. También solventaría los largos tiempos de preparación y ajuste necesarios para esta estación ya que esta es controlada por un solo operario el cual tiene que ocuparse de multitud de tareas.

Surgen dos ideas de acople al eje del motor:

- a) Un engranaje formado por una corona dentada que se acoplará al eje y un tornillo sin fin unidireccional o bidireccional dependiendo del caso que permitirá el movimiento de los topes que ajustan el pliego.

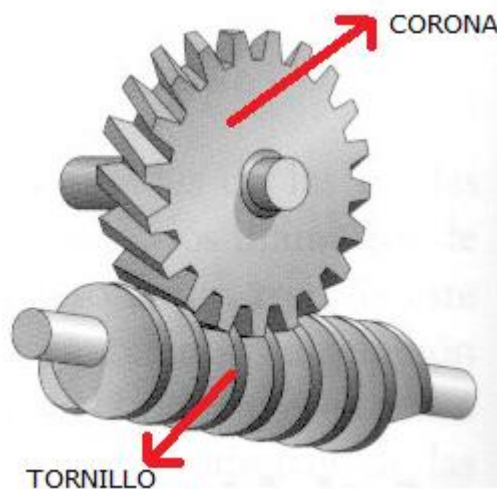


Figura 10. Sistema corona-tornillo para acople a motor.

La expresión por la que se rige este mecanismo es similar a la de las ruedas dentadas teniendo en cuenta el número de entradas del tornillo como elemento motor en este caso:

$$n_1 \cdot e_1 = n_2 \cdot Z_2$$

Donde:

- **n**= número de vueltas del elemento.

- **Z**= número de dientes de la rueda conducida.
- **e**= número de entradas del tornillo sin fin.

b) Un tornillo sin fin unidireccional o bidireccional acoplado directamente al eje del motor mediante un casquillo y tornillos Allen.

Cada sistema tiene sus ventajas e inconvenientes que se verán en el capítulo de soluciones para la estación de marcadores.

2.3. Mejora de ajuste de guías

El ajuste de guías para preparar la estación frente a la recogida de determinados pliegos es algo pesado que suele requerir bastante tiempo en el inicio de una tirada específica de pliegos.

Algunas máquinas muy modernas tienen algunos sistemas que permiten ciertos ajustes, pero complica excesivamente el ámbito de mejora y de programación posterior. Se ha decidido no mejorar esta parte para poder centrarse en otras mejoras que realmente si son útiles y permiten un buen funcionamiento de la estación. Se deja pues esta parte como una futura mejora a considerar en caso de querer ampliar el proyecto.

2.4. Detección fin de carga de papel

2.4.1. Ámbito de la aplicación y justificación de mejora

Actualmente la máquina no detecta si se ha cargado papel en la tabla alimentadora o si queda suficiente papel mientras está en marcha.

Una vez la máquina está en marcha se debe detectar si cada marcador está cargado y si queda papel suficiente. En caso de que se detecte fin de carga o no haya papel la máquina se parará. Esto se puede solventar añadiendo un sensor que detecte el fin de carga. Existe multitud de sensores que se pueden utilizar en este caso. A continuación, se planteará una serie de alternativas y finalmente se escogerá el sensor más adecuado en cuanto a buen funcionamiento y coste para la estación.

2.4.2. Área de detección y funcionamiento

Se desea que mientras el sensor detecte presencia de papel a una distancia inferior de 3 cm aproximadamente envíe un '1' lógico (luz sensor encendida) y que cuando queden pocos pliegos el sensor envíe un '0' lógico (luz sensor apagada).

Como posibles detectores se piensa en sensores ópticos pues pueden trabajar en condiciones extremas, detectan forma, posición y superficie de objetos con exactitud. Recogen las distancias con gran acierto y suelen ser fáciles de colocar. Estos sensores se basan en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta.

Como inconvenientes citar, su sensibilidad a la acumulación de suciedad.

Todo lo expuesto anteriormente hay que tenerlo en cuenta a la hora de diseñar su aplicación y a la hora de su mantenimiento.

2.4.3. Alternativas de detección y tipología

a) Sensores ópticos de barrera

Un sensor óptico de barrera si podría instalarse para detectar la presencia de papel, pero nos introduciría las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. Normalmente usados para distancias medianas y grandes.
2. Necesidad de cablear dos elementos (emisor-receptor).
3. Dificultad de alineación.
4. Sensible a las vibraciones (falsos positivos), estas pueden ser debidas al movimiento de los tambores.

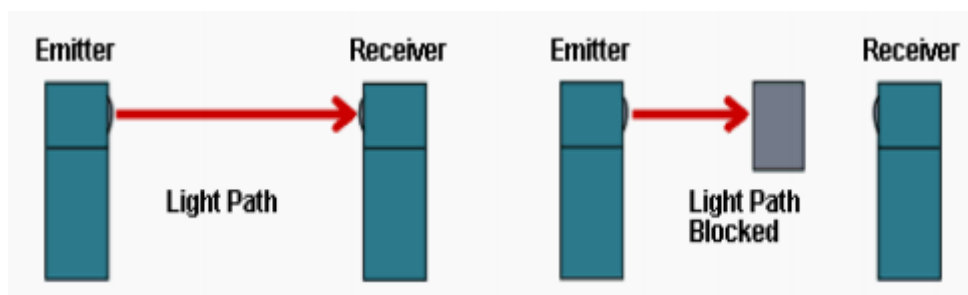


Figura 11. Sistema de detección por barrera óptica

b) Sensores ópticos reflectivos (réflex)

El módulo de emisión y de recepción se encuentran en una carcasa. Con la ayuda de un espejo o reflector se devuelve el haz de luz enviado al receptor. Un objeto en el área de luz provoca una interrupción del haz de luz y activa una operación de conmutación. Presentan las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. Admiten distancias cortas y medianas.
2. Necesidad de colocar un espejo reflector o catadióptrico.

3. Desgaste del catadióptrico debido al desgaste temporal y el choque de papel ya que su colocación implica situarlo en el soporte de profundidad (A)
4. Dificultad de alineación.
5. Sensible a las vibraciones (falsos positivos), estas pueden ser debidas al movimiento de los tambores.
6. Baratos y populares
7. Algunos presentan problemas al reflejar el color negro.



Figura 12. Sistema de detección por reflexión sobre catadióptrico.

c) Sensores ópticos reflectivos difusos o de reflexión directa

El detector de reflexión sirve para una detección directa de objetos. El emisor y el receptor se encuentran en una carcasa. El emisor irradia luz visible que es reflejada por el objeto a reconocer y recibida por el receptor. Con este sistema no se evalúa la interrupción del haz de luz, sino la reflexión de la luz por un objeto. Una reflexión directa va a producir una luz más intensa con mayor contraste y sombras mejor definidas que una difusa, por lo demás son completamente iguales. Presentan las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. Admiten distancias normalmente cortas.
2. Fácil de colocar.
3. Baratos y populares.
4. Algunos presentan problemas al reflejar el color negro.

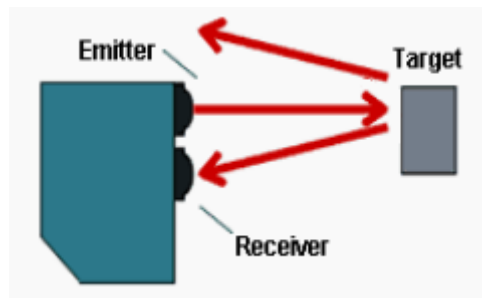


Figura 13. Sistema de detección por reflexión difusa.

d) Sensores de fibra óptica para los casos anteriores

1. La fibra atenúa la luz y la distancia de detección se reduce. Distancias cortas y medianas.
2. Fácil de colocar. Pequeño tamaño y aptos para entornos de difícil acceso
3. No circula corriente eléctrica y son aptos para ambientes críticos
4. Suelen ser más caros que los casos anteriores.

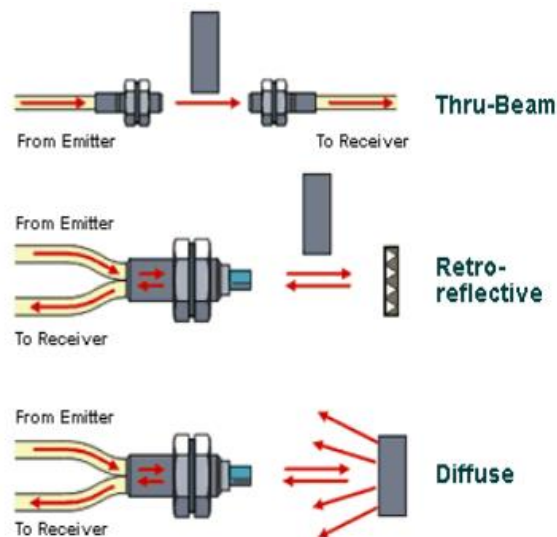


Figura 14. Sistemas de detección anteriores con fibra óptica.

2.5. Control fallo de pliego

Con la máquina en marcha y existiendo carga de papel la ventosa no transporta el papel a los topes y el tambor en "n" recogidas no ha bajado el papel al carril.

No existe un sistema que detecte este tipo de fallo y que pueda parar la máquina evitando así un número incompleto de ejemplares.

La máquina debe parar al cabo de "n" recogidas sin transportar papel. Los fallos se ven reflejado en los marcadores posteriores al marcador que ha causado el fallo ya que está previsto que carguen y no lo habrán echo teniendo así un número de incompletos. Existen multitud de sistemas a diseñar para poder solucionar este fallo, unos más complejos que otros. Veamos dos sistemas que se podrían diseñar:

- a) Diseño de un sistema mecánico que permita enviar un pulso eléctrico (0 o 1) en función de si baja un pliego en la rotación del tambor o no. Este consiste en una pequeña rueda presionada contra el tambor. En el tambor se hará una hendidura que en caso de que no pase pliego la rueda diseñada se hundirá levemente accionando un microinterruptor. Si existe pliego, este tapaná la hendidura y la rueda no se introducirá en el hueco creado y no accionará el microinterruptor.
- b) Colocación de un receptor que gira con el tambor y un emisor fijo alineado. Si en el envío del foco de luz por parte del emisor encuentra un pliego en el receptor o no se enviará un pulso eléctrico que informará de si ha bajado pliego o no.

El pliego que irá solo en ese ciclo se tiene que rechazar sin ser grapado.

2.6. Falta de aviso de fallos

La lámpara de fallo en marcador se enciende cuando se abre cualquiera de las cubiertas protectoras o se levanta la tabla (son sistemas que van con microinterruptor), además también se enciende cuando no existe una relación mecánica y eléctrica de los bloqueos o embragues. La lámpara sigue iluminando hasta que el fallo se haya eliminado.



Figura 15. Aviso lámpara marcador por capot delantero abierto.

El problema está en que estos avisos no indican la totalidad de los problemas que pueden ocurrir ya que no contempla la mejora que se está realizando. Es por eso que es necesario actualizar el método de aviso de fallos.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE MEJORAS PARA LA COSEDORA

A continuación, se observa el modo de funcionamiento de la estación cosedora, así como el planteamiento de mejoras y alternativas para mejorar el sistema actual y corregir problemas.

3.1. Modo de operación y problemática actual

3.1.1 Sistema de cosido

Los marcadores alimentan la cadena colectora que avanza con los pliegos. Estos pasan por una rueda mecánica con galga (16) que comprueba si el producto es muy delgado o muy grueso (si tiene más o menos pliegos de los que le toca. El cajón de rechazo se basa en un cilindro actuado por doble efecto mediante

electroválvula de cuatro vías y dos posiciones todo/nada. El cilindro actuará si se detecta cualquier ejemplar con errores antes de llegar a este. El primer sistema en detectar error a lo largo del recorrido serán el que lleve el ciclo al sistema de rechazo, es decir, un pliego puede ser detectado como erróneo por dos sistemas, el primer sistema que lo detecte es el que avisa al sistema de rechazo de que faltan "n" ciclos de máquina para que llegue y así actuar el cilindro.

El sistema de grapa funciona mediante una electroválvula de dos vías y dos posiciones todo/nada. Cuando la válvula queda abierta (gatillo abierto) este sistema intenta grapar, pero no lo consigue. Si se cierra la válvula o se engatilla el sistema consigue el grapado.

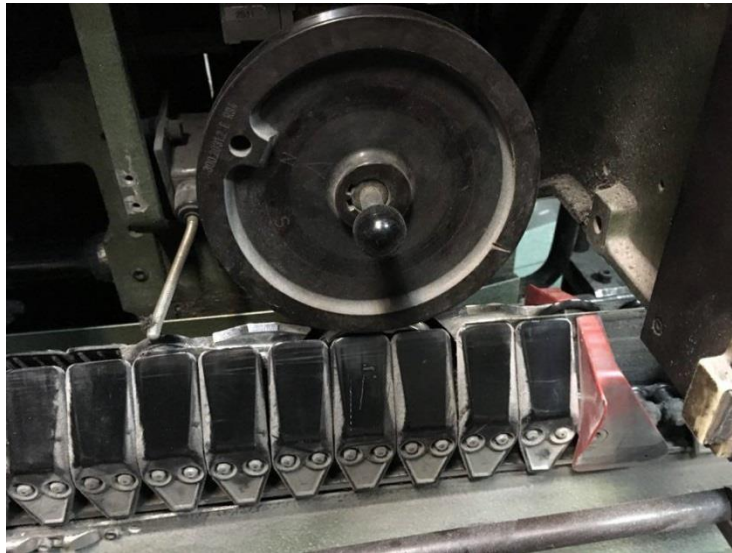


Figura 16. Rueda con galga para la detección óptima de pliegos y paro por micro a la izquierda.

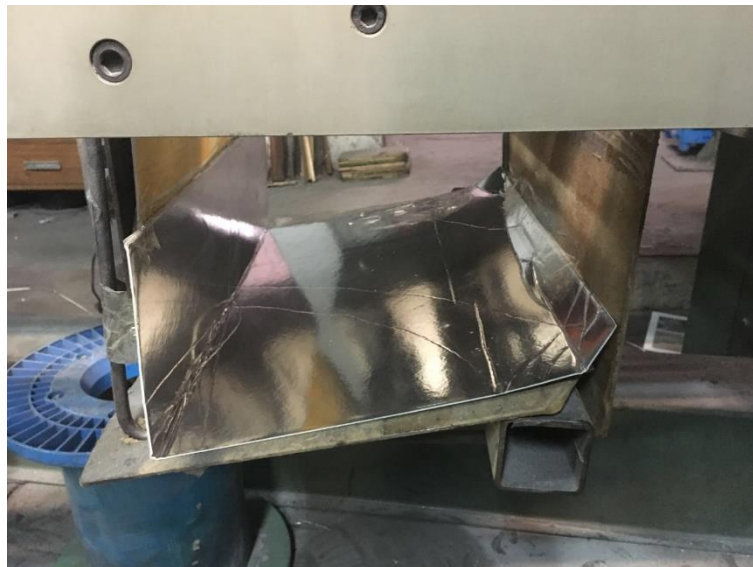


Figura 17. Cajón de pliegos rechazados.

A lo largo del trayecto los ejemplares pasan por guías que los conducen hasta la guillotina si estos no son desechados debido al sistema anterior. El sistema de cosido utilizado se muestra a continuación, se observan los cabezales que permiten el grapado y el hilo que se utiliza para grapar.

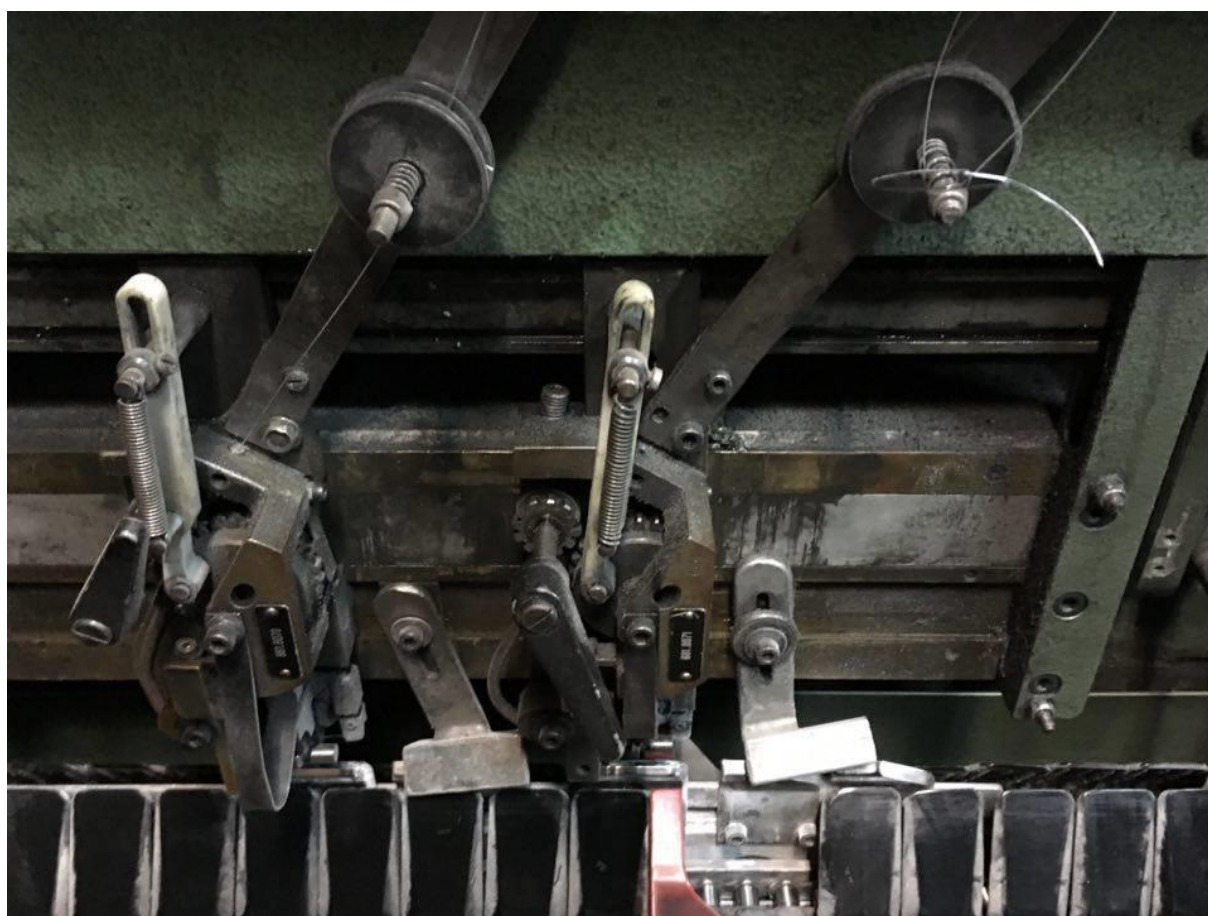


Figura 18. Sistema de grapado utilizado en la estación cosedora.

Los productos completos y cosidos al final de la cadena colectora son lanzados hacia la guillotina trilateral la cual quedará alimentada por estos.

3.1.2 Sistema de guiado y paros mediante microinterruptor

La estación de cosido cuenta con numerosos elementos que sirven de guía, elementos que paran la máquina y alguno que realiza las dos funciones a la vez.

Las guías son ruedas que tienen una forma cóncava (19A) para permitir el deslizamiento del conjunto de pliegos (posible ejemplar si no es desechado).

Además, hay ciertos elementos metálicos que hacen pasar los pliegos por el recorrido, pero estos son fijos y no deslizan (19B).

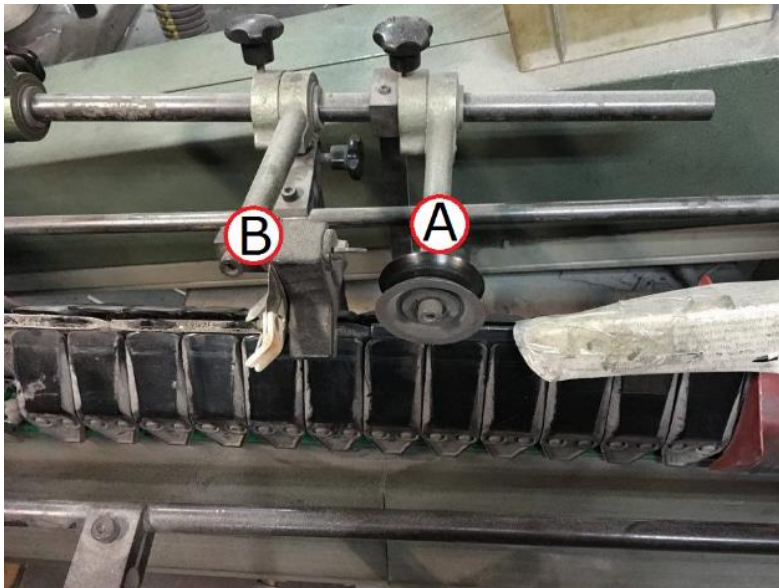


Figura 19. Sistema de guiado fijo y móvil.

Los elementos que paran la máquina son los llamados microinterruptores. En la estación se ven muchos pues la máquina es algo antigua. Actualmente se usan otros sistemas, aunque cabe decir que funcionan perfectamente y no dan lugar al fallo por lo que no se ha considerado en actualizarlos pues su funcionamiento es óptimo hasta la fecha. La estación cosedora contempla seis microinterruptores distribuidos a lo largo de la estación estratégicamente donde los pliegos pueden llegar a encallar además del usado para la apertura de la tapa.

Cuando hay una acumulación de pliegos en un lugar saltará el microinterruptor debido a la vibración de una varilla mecánica provocada por pliegos acumulados.

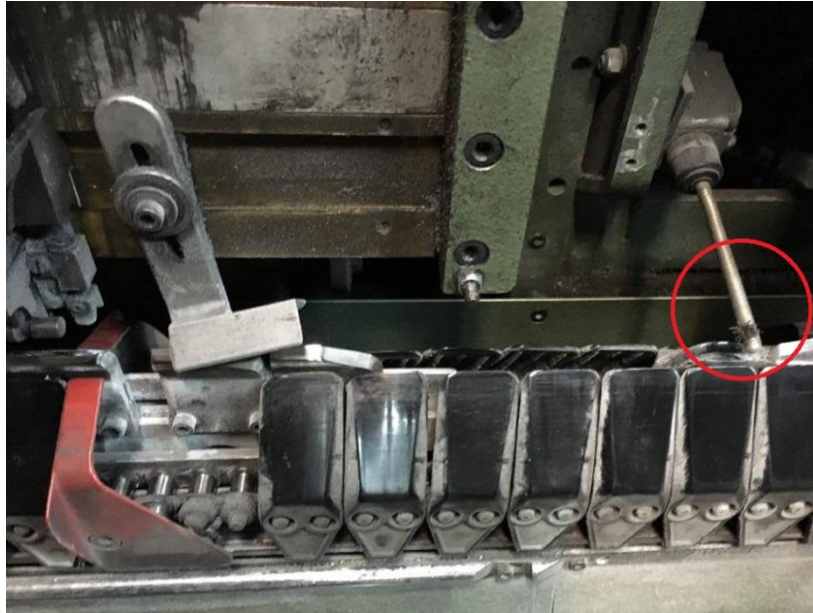


Figura 20. Varilla que acciona el microinterruptor. Paro precosido.

Un ejemplo de guía y paro por micro lo tenemos en las siguientes imágenes donde la rueda cóncava ayuda a deslizar los pliegos y frente a una acumulación de estos se levantará y el micro cambiará de estado.

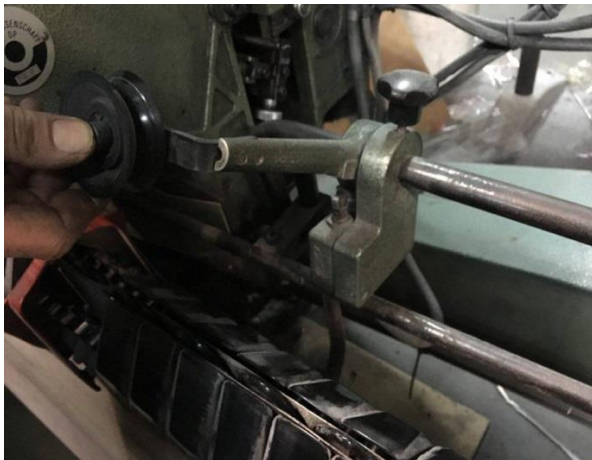


Figura 21a. Posición adquirida por la guía en caso de encallada.



Figura 21b. Posición adquirida por la guía cuando no hay encallada.

3.1.3. Análisis de problemas

La estación descrita en los subpartados anteriores pese a funcionar de forma correcta no está blindada de cara a posibles errores o accidentes que puedan surgir en su funcionamiento, cabe decir que la parte mecánica es buena, pero necesita de electrónica para poder solventar ciertos aspectos. Como problemas de la estación actual tenemos:

- Problema debido a los pliegos torcidos y desalineados.
- Problema de fallo de grapa.
- Problema de localización del fallo

A continuación, se introducirá un análisis de mejoras y posibles alternativas propuestas para corregir los problemas anteriores y en un capítulo posterior indicará y justificará la solución tomada.

3.2. Detección de pliegos torcidos y desalineados

A la hora de coser el pliego debe estar completamente alineado con la cadena colectora, además no es conveniente que algún pliego que forma el ejemplar se encuentre adelantado respecto los demás.



Figura 22a. Pliego adelantado.



Figura 22b. Pliego torcido.

La solución pasa por poner varios sensores que detecten la forma de pasar del ejemplar justo antes de ser grapado. En caso de que la posición del ejemplar sea incorrecta este no se grapará y será desechado.

Se supone que se necesitarán cuatro sensores, dos frontales y dos traseros y está claro que deben ser ópticos. Se debe tener en cuenta cuantos se necesitan para saber si está torcido o cayendo el ejemplar o bien se encuentra un pliego adelantado respecto a otro.

La mejora corresponde al ámbito de calidad del producto pues interesa que los ejemplares estén completamente alineados y se quiere evitar grapados incorrectos e innecesarios.

Pese a ser una buena mejora finalmente se ha decidido no realizarla debido a la falta de tiempo y a la dificultad de realizar un buen diseño y posterior programación ya que juegan un factor clave los tiempos.

3.3. Detección de fallo de grapa

Hasta ahora la máquina estaba blindada antes del grapado pero que pasa si a la hora de grapar no se hace adecuadamente, es decir, se programa un número de grapas (de una a seis grapas) para coser la revista y resulta que se ponen de menos. Esto se debe poder solucionar añadiendo algún sistema que permita una detección óptima de las grapas que se ponen en cada ejemplar y en caso de que falte alguna se rechace el ejemplar.

El sistema a diseñar debe tener un sensor inductivo que esté lo más próximo posible de las grapas de los ejemplares que pasan y que esté bien sujeto.

La mejora corresponde al ámbito de calidad del producto pues interesa que los ejemplares de una tanda concreta tengan el mismo número de grapas.

3.4. Localización del fallo

La máquina a mejorar no dispone de casi avisos, únicamente tenía las lámparas de aviso de cada marcador. Se ha pensado en instalar varias lámparas que indiquen la localización del fallo de forma rápida con el objetivo de ayudar al operario a identificar cual es el motivo del error. Antes de la mejora esto no era del todo necesario pues apenas tenía sistemas de aviso de fallo, la mayor parte de ellos estaban dedicados al abrir/cerrar tapas y a los microinterruptores que detectan si los ejemplares se encallan en el trayecto.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE MEJORAS PARA LA GUILLOTINA TRILATERAL

A continuación, se observa el modo de funcionamiento de la estación cortadora, así como el planteamiento de mejoras y alternativas para mejorar el sistema actual y corregir problemas.

4.1. Modo de operación y problemática actual

4.1.1 Sistema de corte trilateral

Los productos procedentes de la estación cosedora que no han sido rechazados son entregados a las cintas de entrada de la guillotina trilateral. Estas cintas conducen el ejemplar a las piezas de retención de la cadena, que se desplaza a velocidad reducida. Seguidamente, el producto, previamente alineado por las cintas laterales, es recogido por las cintas transportadoras superiores e inferiores que lo conducen a los topes, donde es nuevamente alineado en sentido lateral antes de quedar sujeto por el pisón, efectuándose luego el corte de cabeza y pie.

Posteriormente el producto recibe un impulso de aceleración y llega a los topes para el corte frontal. También aquí, el producto sujetado por un pisón, mientras se efectúa el corte frontal.

Los cepillos dispuestos en ambos lados de la guillotina evitan que el producto rebote en los topes.

El ejemplar cortado sale de la guillotina trilateral a través de las cintas de salida. En esta guillotina los recortes son eliminados de la zona de cuchillas por soplado con aire comprimido.

4.1.2. Sistemas de seguridad.

Tal como se ha ido viendo a lo largo de las otras estaciones, cada parte de la máquina está sumamente protegida y blindada de cara a las malas prácticas que se puedan hacer. La guillotina trilateral está totalmente protegida mediante dos capots que cierran totalmente la máquina.



Figura 23. Capots de Guillotina Trilateral totalmente abiertos.



Figura 24. Capots de Guillotina Trilateral totalmente cerrados.

Además, la guillotina dispone de un paro debido a las hojas que entran mal consistente en una especie de aguja que choca con el papel si este está en posición incorrecta. No se ha podido adjuntar foto pues es un paro interno de la guillotina

y a penas visible, aunque se ha comentado debido a la programación posterior ya que se tendrá en cuenta.

4.1.3. Análisis de problemas

La guillotina trilateral funciona en perfecto estado, aunque se podría mejorar el tiempo que se tarda en prepararla para cortar en óptimas condiciones el papel. Los pliegos son de medidas muy diversas y se necesitaría un control de ajuste mediante motores DC muy parecido al sistema de Marcadores. Las mejoras a considerar serían las siguientes.

- Ajuste de corte frontal
- Ajuste de corte lateral doble

Pese a ser una buena mejora para reducir los tiempos de preparación de la máquina ahorrando tiempo al operario, se ha decidido no realizarla por falta de tiempo, además de cara al aprendizaje no supone nada nuevo pues consistiría en realizar a groso modo la misma mejora que para el ajuste de topes en los Marcadores solo que habría que realizar todo el diseño mecánico integrado en la propia guillotina la cual cosa implica abrir la máquina y realizar muchísimas modificaciones mecánicas cosa que difiere del contenido del trabajo expuesto.

CAPÍTULO 5:

MEJORAS FINALES PARA LOS MARCADORES

En este capítulo se muestra la selección final de elementos referentes al análisis de mejoras del capítulo de marcadores, así como la manera de llevarlo a cabo y su instalación.

5.1. Motores para ajuste en tabla de alimentación

Analizadas las diferentes dos alternativas de sistemas para el ajuste en la tabla de alimentación del capítulo dos:

- Se descarta el sistema *a)* ya que su instalación implica un cambio en la relación de transmisión que se había pensado.

Se escoge finalmente el sistema *b)* basado en un tornillo sin fin bidireccional al cual se le acoplará un pequeño motor eléctrico seguido de un reductor mediante un casquillo y varios tornillos Allen. El sistema anterior permite ajustar el ancho de la pila de papel. Para ajustar la profundidad de la pila y dado que solo tiene una parada se necesita un tornillo sin fin unidireccional. La relación de transmisión se mantiene, así que la salida del reductor y la salida del sin fin son las mismas.

5.1.1. ¿Por qué un reductor?

El reductor es un elemento común cuando se usan motores ya sean eléctricos o no, pues permiten ajustar la velocidad disminuyendo hasta un valor fijo constante e incrementan el torque o par mecánico. La fórmula que expresa lo anterior es la que sigue:

$$P = T\omega = \frac{Tn}{60/2\pi} \rightarrow T = \frac{9,55P}{n}$$

donde,

P , es la potencia del motor, en W ;

T , es el par motor, en $N\cdot m$;

n , son las revoluciones por minuto de giro del motor (*r.p.m.*)

Se observa que, al disminuir las revoluciones por minuto del motor mediante el reductor se consigue un aumento de torque o par pues ambas magnitudes son inversamente proporcionales. Se tiene pues un motor eléctrico sencillo el cual ha sido ajustado su velocidad y aumentado su fuerza o par. No se necesita de un variador de frecuencia pues se trata de un motor pequeño, se hablará del variador en capítulos posteriores cuando se cite el motor que mueve el cardan.

5.1.2. Tornillo sin fin unidireccional y bidireccional

Se conoce como tornillo sin fin un simple eje cilíndrico que contiene una parte dentada.

El sentido de giro dependerá de la forma que tengan las vueltas. Se puede tener un sistema con giro dextrógiro y otro con giro levógiro. En el caso de un sistema de tornillo sin fin unidireccional se tendrá un único sentido de giro permitiendo el movimiento del sistema hacia ambos lados. En la estación de marcadores, el ajuste de profundidad (25A) se hará mediante este tipo de tornillo pues solo tenemos un tope.

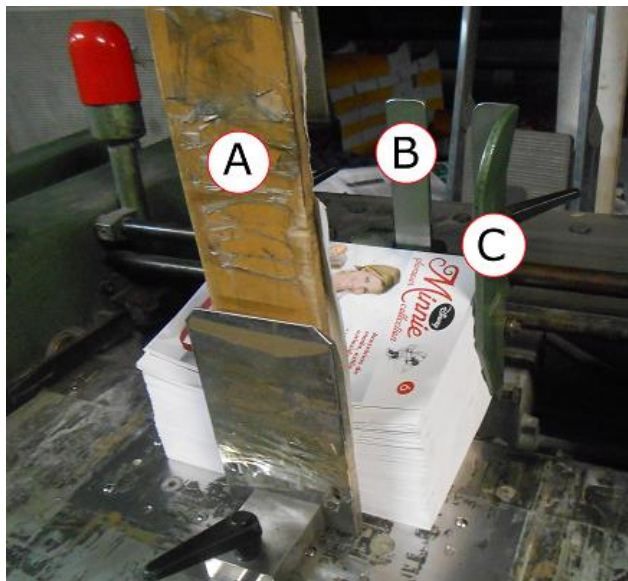


Figura 25. Antigo sistema de ajuste para la tabla de alimentación.

Se puede hablar de un tornillo sin fin bidireccional cuando se tiene un gran cilindro doblemente dentado y separado por una parte sin dentar, donde se presentan ambos sentidos de giro permitiendo así que en caso de girar la totalidad del elemento se presente simetría en los objetos a mover.

En la estación de marcadores el ajuste lateral del pliego (25C) se hará mediante este tipo de tornillo pues tenemos dos topes que queremos que se muevan simétricos respecto del centro del pliego.

El cilindro (26A) se dejará igual que estaba pues es el que va conectado a las pinzas que cogen el pliego y permite la rotación. El cilindro (26B) se substituirá por uno bidireccional donde un lado será de sentido dextrógiro y el otro levógiro permitiendo así la simetría del movimiento de ajuste. Un ejemplo para entender el mecanismo se encuentra en la figura 27, donde tiene ambos tipos de giro y además tiene un motor muy parecido al escogido detrás de la caja.

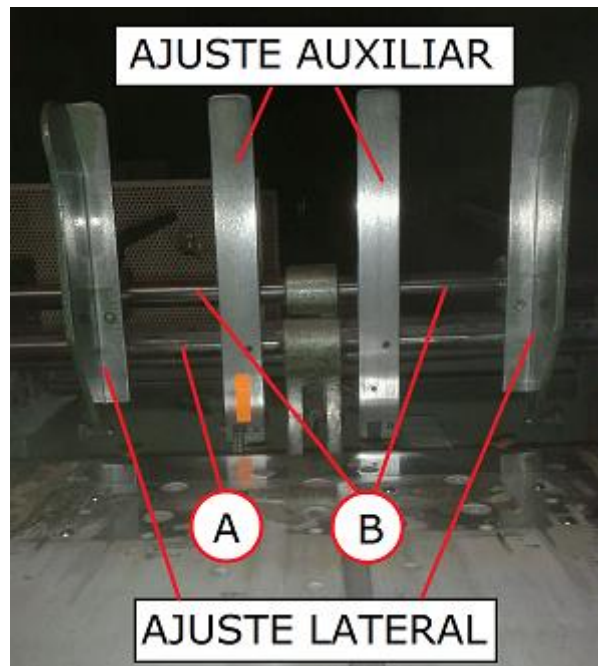


Figura 26. Antigo sistema de ajuste.

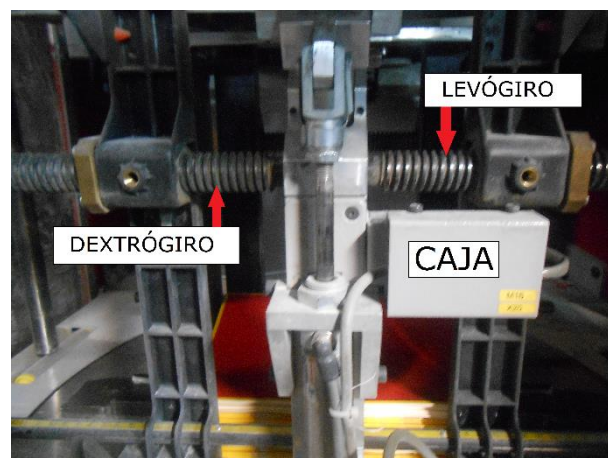


Figura 27. Ejemplo mecanismo bidireccional.

5.1.3. Elección del motor y solución mecánica final

Para llevar a cabo la tarea anterior se ha seleccionado un motor DC modelo 404.327 serie GMAG 127 E 10 290 del proveedor Nidec Automation and Motors.

Este motor llevar acoplado un reductor (caja negra) por lo que se trataría en realidad de un motorreductor DC bidireccional con encoder. Tiene un grado de protección IP 40 suficientemente alto para el entorno donde va a trabajar. La documentación se encuentra adjunta en el anexo.



Figura 28. Motorreductor DC. Modelo 404.327 de Nidec Automation and Motors.

El acople mecánico del eje estaría constituido por los siguientes elementos:

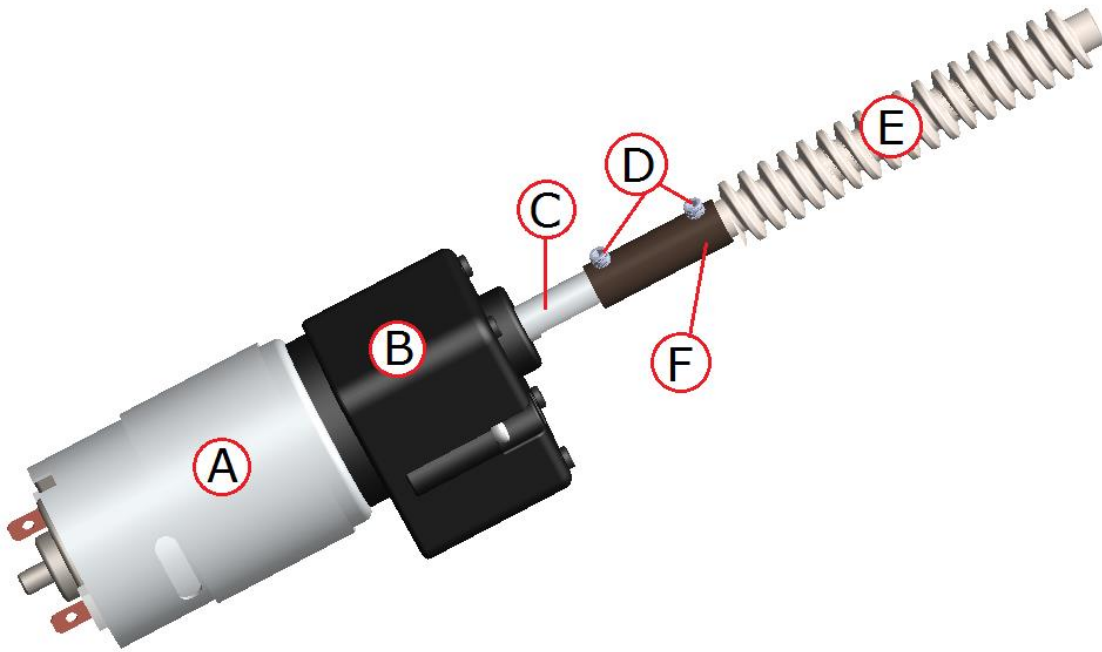


Figura 29. *Diseño del acople mecánico que va al motorreductor.*

El motorreductor está formado por el motor (29A) y el reductor (29B). El eje del reductor (29C) se encuentra unido al tornillo sin fin (29E) mediante un casquillo (29F) a partir de dos tornillos Allen (29D) roscados al casquillo e introducidos unos milímetros en ambos ejes (29C) y (29E).

En el caso de utilizar un tornillo sin fin bidireccional el sistema anterior ya sería totalmente válido, solo hace falta realizar un agujero en cada ajuste y colocar una tuerca para el sin fin del tope, atornillada mediante dos o cuatro tornillos Allen ideales para ser acoplados a este elemento. Se podría colocar dos tornillos más para asegurar el sistema si fuese necesario. Los ajustes auxiliares que tiene en el medio figura 26. son para que no caiga el papel, estos suelen ponerse fijos (no se acostumbra a moverlos) aunque si se quiere se pueden mover manualmente por lo que están siempre libres de tuerca y solo sirven de apoyo a los laterales.

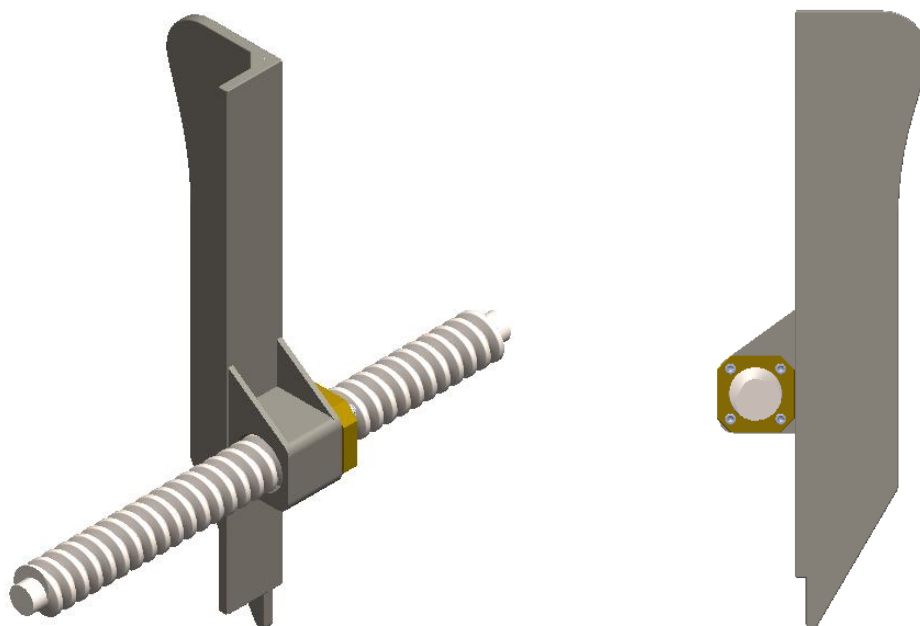


Figura 30a. Vista isométrica. Acople de sin fin al ajuste lateral mediante tuerca y cuatro tornillos Allen.

Figura 30b. Vista lateral. Acople de sin fin al ajuste lateral mediante tuerca y cuatro tornillos Allen.

Por último, se muestra el diseño realizado para el acople frontal del tope bajo mesa de alimentación, es exactamente lo mismo, pero debajo de la mesa, y taladro inferior en el tope saliente.

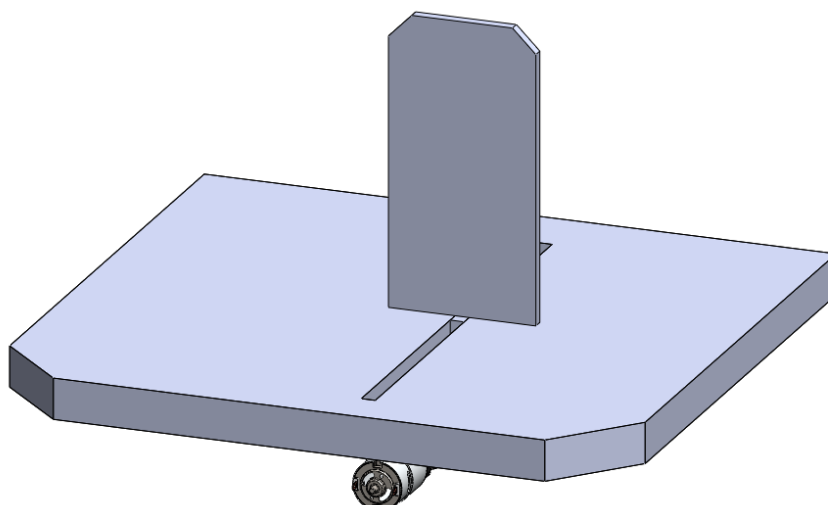


Figura 31. Ajuste frontal. Diseño del acople mecánico que va al motorreductor.

5.2. Detección fin de carga de papel

Analizadas las diferentes alternativas de sensores ópticos para la detección de fin de carga de papel del capítulo dos:

- Se descarta el sensor óptico de barrera debido a los puntos 1, 3 i 4.
- Se descarta el sensor óptico réflex debido a los puntos 3, 4 i 5.
- Se descartan los sensores de fibra óptica debido al punto 4.

Finalmente se opta por un sensor óptico reflectivo difuso por adecuarse a todas las necesidades de detección y por tener un precio más económico frente a los de fibra óptica.

El sensor que se ha escogido finalmente es un sensor reflectivo difuso con filtro polarizable (luz visible roja) con supresión de fondo. Ampliamente utilizado en aplicaciones industriales. Puede ser afectado por luz ambiente intensa, pero en el entorno para el que ha sido escogido no es muy luminoso. Además, se puede alinear fácilmente ya que a diferencia del infrarrojo el rayo si es visible. El modelo es: CH-8500 Frauenfeld – FHDM 12P5001/S35A de Baumer Electric. La documentación se encuentra adjunta en el anexo.



Figura 33a. Sensor reflectivo difuso. Modelo CH-8500 de Baumer Electric.

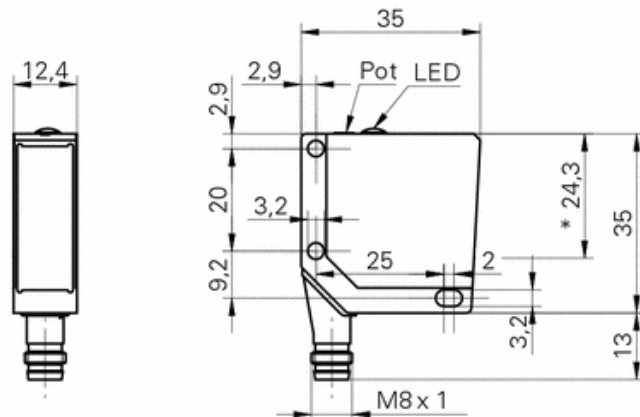


Figura 33b. Dibujo y medidas del sensor.

Tiene un grado de protección IP 67 que es ideal para el lugar en el que se va a instalar. Se ha tenido mucho cuidado en la elección del sensor teniendo en cuenta el grado IP contra el polvo pues normalmente los entornos industriales suele haber mucho polvo.

El tamaño de la carcasa es ideal. Se puede situar el emisor a una altura deseada de tal manera que informe sobre el fin de carga cuando queden pocos pliegos.

El sensor escogido se situará justamente donde indica la figura, aunque también se podría colocar en el otro tope simétrico. Se necesitará una carcasa que vaya

roscada al sensor y a su vez vaya roscada al tope deseado para poder colocarlo. No se coloca en medio pues ahí están las pinzas que deben girar y chocarían con el elemento.

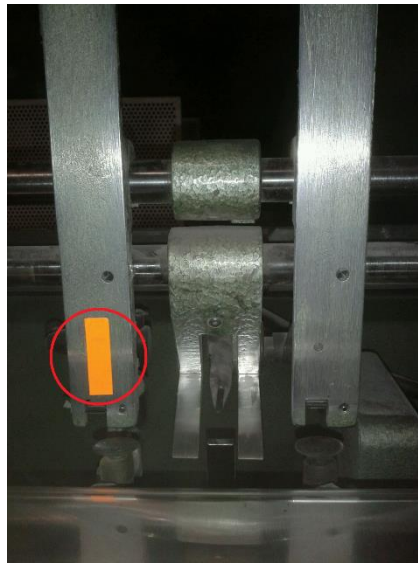


Figura 34. Emplazamiento del sensor escogido.

Para comunicar el sensor se instalará también un conector M8 de 4 pines recto. El modelo del conector es: ESG 32AH0200 (2 m) del proveedor Baumer Electric.



Figura 35a. Conector M8 de 4 pines recto. Modelo ESW 31AH0200.

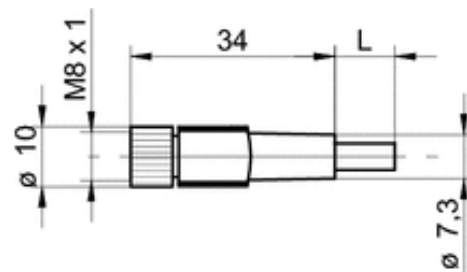


Figura 35b. Dibujo y medidas del conector.

Para entender la instalación del sensor en la estación de Marcadores se ha realizado el diseño que viene a continuación, donde se puede apreciar tres vistas (lateral, frontal e isométrica). En la vista frontal se aprecia emisor (arriba) y receptor (abajo) y el agujero realizado en el tope. En la vista lateral se aprecia el acoplo del sensor a la carcasa que lo envuelve mediante dos tornillos y ésta al tope mediante un tornillo. La vista isométrica muestra una visión del conjunto para dar una idea de cómo se realizaría el diseño. El sensor dispone de un potenciómetro que permite ajustar la distancia del rayo de luz roja y un indicador de luz amarilla para señalar la detección.

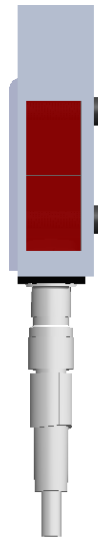


Figura 36a. Vista frontal. Diseño del montaje de sensor y tope.

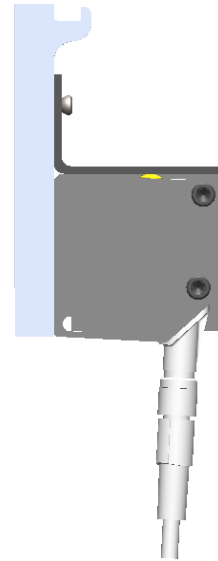


Figura 36b. Vista lateral. Diseño del montaje de sensor y tope.

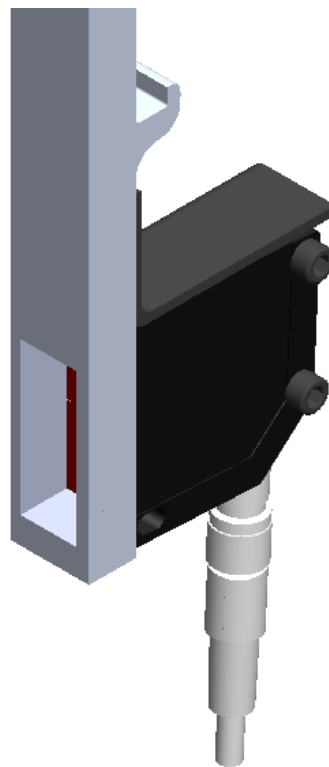


Figura 37. Vista isométrica. Diseño del montaje de sensor y tope.

5.3. Control fallo de pliego

5.3.1. Elección del sensor óptico e instalación

Analizadas las dos diferentes alternativas de sistemas para la detección de pliego del capítulo dos:

- Se descarta el sistema *a)* pues se basaría en el acoplo de un sistema mecánico a un microinterruptor. Actualmente hay sistemas mucho más nuevos que son más precisos y no tan aparatosos mecánicamente hablando.

Finalmente se escoge el sistema *b)* de emisor-receptor no coplanarios pese a que es algo difícil de alinear (no tanto como los de barrera óptica). Como ya se ha visto en puntos anteriores que sensor óptico es el más ideal según el tipo de aplicación, no se realizará un estudio completo de cual resultaría mejor.

El sensor seleccionado finalmente es un sensor retro-reflectivo basado en un sensor de luz roja polarizable (660 nm) y un reflectante que se colocará alineado a este. El modelo del sensor es: FPDM 12P5101/S35A de Baumer Electric. El modelo del reflector es: FTAR 020A000 del mismo fabricante.

La documentación se encuentra adjunta en el anexo.

El sistema es ideal para este tipo de aplicación pues los pliegos bajan rápidamente por el bombo mientras los agarra la pinza y se encuentran a cierta distancia del soporte más cercano donde se podría colocar un sensor por lo que un sensor reflectivo difuso no sería óptimo. Un sensor de barrera óptica laser tampoco lo sería pues la distancia no es tan grande como para que se necesite uno. El ajuste de distancia se hará con el potenciómetro que incorpora el sensor. Cabe decir que el reflector se compra separado al sensor pues cada uno admite una distancia de sensado diferente. El pliego pasará por encima del reflector interrumpiendo la recepción de luz del receptor coplanario al emisor.

El sistema anterior se puede colocar detrás del bombo abriendo la tapa de seguridad, donde señala la foto siguiente.

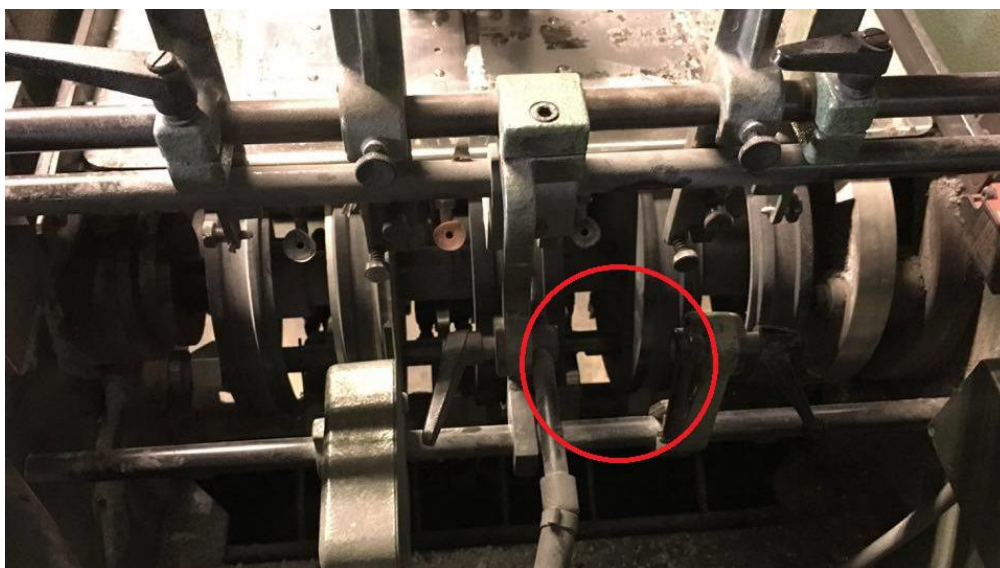


Figura 38. Lugar de instalación del sensor y reflector escogidos.

Concretamente se podría situar el sensor en el cilindro (39B) al lado del tope con mordaza y el reflector en el tambor (39A) mediante una escuadra metálica o elemento en forma de 'L' que irá atornillado al bombo mediante dos tornillos.

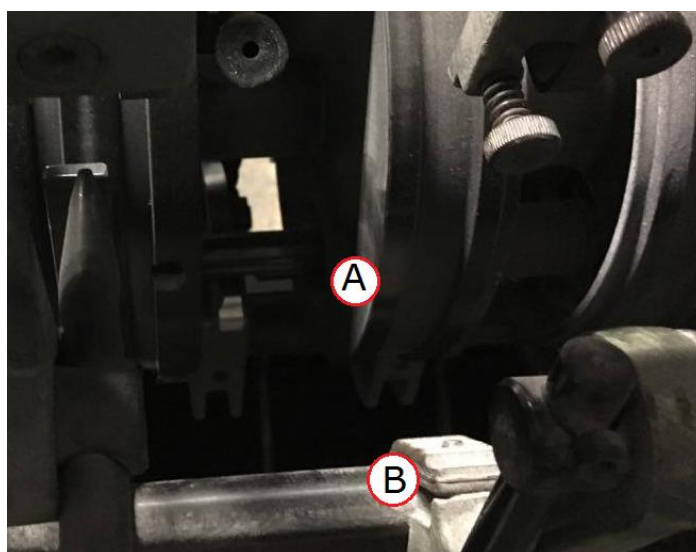


Figura 39. Vista en detalle de la instalación de sensor y reflector.

A continuación, se muestra un posible diseño de la mejora para entender mejor la instalación de la que se habla.

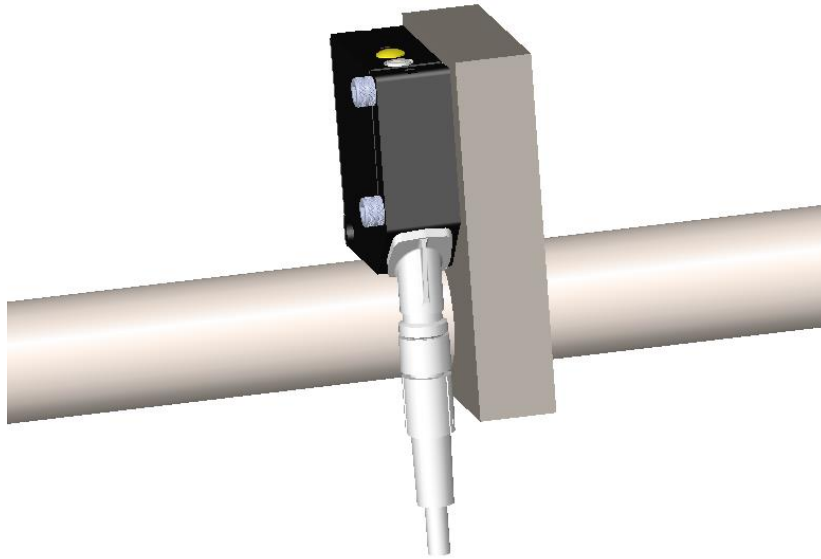


Figura 40. Diseño y montaje del sensor.

El sensor queda atornillado a una caja metálica y esta a un cilindro o eje que une los extremos del marcador. En cuanto al reflector, la instalación y diseño es el que sigue:



Figura 41a. Montaje de escuadra y receptor.

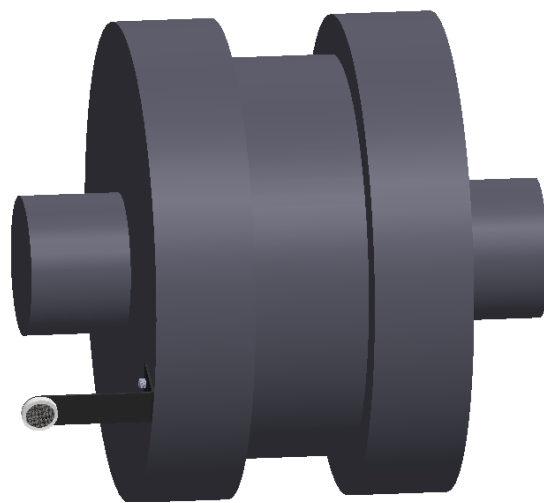


Figura 41b. Montaje de escuadra y receptor al bombo

Se tiene pues un elemento metálico en forma de 'L' o también llamado escuadra al cual se le adhiere el reflector (lleva adhesivo) y el conjunto se atornilla mediante dos tornillos al tambor del eje principal de la estación tal como muestra la figura 41b.

El sistema de mejora realizado carece de un tiempo de lectura, es decir, no queremos que el sensor esté continuamente leyendo pues al tener reflector solo

queremos que se lea en el instante en que emisor y reflectante están completamente alineados pues en los demás casos podría dar lectura errónea. Además, aunque utilizásemos un flanco en la programación (refleja y no refleja en el receptor) para detectar que no pasa pliego, se necesita saber si también pasa el pliego pues la negación primero a efectos prácticos como se verá a continuación no implica que pase papel.

Imaginemos el caso en que no se detecta pliego (se refleja la luz y luego una vez pasa el pliego no refleja pues el reflector gira con el tambor), se contabiliza un pliego pues. A continuación, pasa un pliego e interesa hacer *reset* al contador de "malos".

Cabe recordar que tal como se describió en el capítulo de marcadores, cada 'n' fallos seguidos se enviará una orden de paro de máquina.

El problema está en que no se sabe el momento en el que el sensor y el reflector van a estar alineados dispuestos a detectar y debido a que anteriormente se había contabilizado un fallo de pliego ahora ya no se puede saber si en realidad están cayendo pliegos o sigue en la primera vuelta del tambor, pues el reflector actuará del mismo modo y no enviará señal al sensor por lo tanto a efectos prácticos es como si continuamente no detecta nada mientras caen pliegos.

Esta y otras casuísticas pueden aparecer a la hora de programar por eso es importante blindar este sistema añadiendo un sensor que nos permita dar un tiempo de lectura y así evitar posibles errores.

5.3.2. Elección del sensor para el tiempo de lectura e instalación

Para llevar a cabo esta tarea se ha pensado en poner un sensor inductivo que, a diferencia de un capacitivo, sirve para detectar solo metales los cuales tienen propiedades magnéticas ya que este tipo de sensor produce un campo magnético el cual al ser interferido por el metal cambia su estado. El capacitivo en cambio, cambia su estado para cualquier material sea o no magnético pues se basa en la creación de un campo eléctrico.

Para la mejora se ha escogido finalmente el modelo: IR12.P04F-11111236 de Baumer Electric. Se trata de un sensor inductivo que conmuta por proximidad a un objeto metálico.



Figura 42a. Sensor inductivo. Modelo IR12. P04F-11111236.

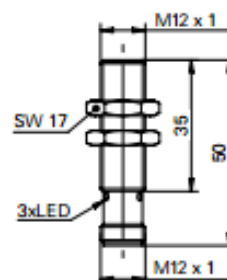


Figura 42b. Dibujo y medidas del sensor

El sensor llevará su respectivo conector modelo: ESW 33SH0200 del mismo fabricante. Este conector es angular pues lo requiere su instalación.



Figura 43a. Conector angular a 90, ESW 33SH0200

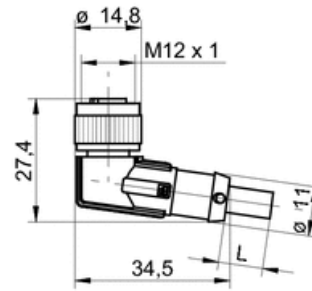


Figura 43b. Dibujo y medidas del conector

La documentación de ambos elementos se encuentra adjunta en el anexo.

Se puede colocar el sensor en diferentes sitios, un posible lugar para su instalación sería en la pared del marcador al lado del eje del tambor principal de manera fija. El periférico debe ser un elemento circular metálico colocado en el eje del tambor principal colocado de tal manera que cuando el sensor óptico este alineado con el reflector el periférico también lo esté con el sensor inductivo. Además, para una detección óptima, periférico y sensor deben estar muy próximos.

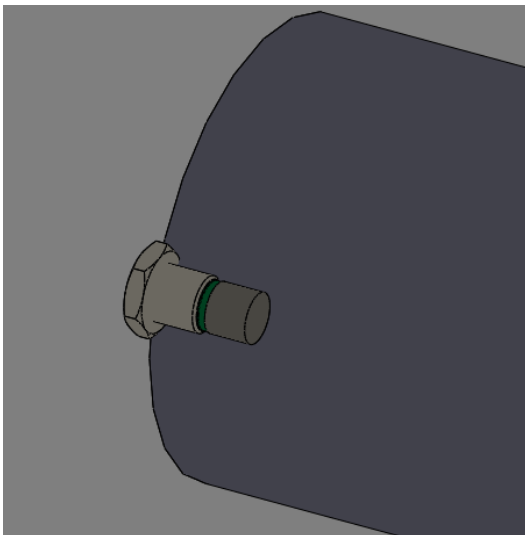


Figura 44a. Montaje y colocación del sensor inductivo y periférico.

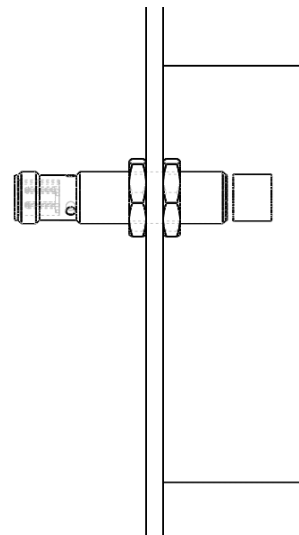


Figura 44b. Vista lateral. Montaje y colocación del sensor inductivo y periférico.

5.4. Falta de aviso de fallos

Como se comentó en el capítulo de marcadores, la lámpara se enciende de color rojo solo si el capot delantero o trasero o la mesa están levantadas y si no hay relación mecánica y eléctrica de embragues (palanca de embrague y selector eléctrico).

Debido a la mejora realizada la lámpara deberá contemplar además de lo nombrado anteriormente, los siguientes casos:

- Indicación de fallo por carga de papel.
- Indicación de fallo debido a la no detección de pliego en "n" cogidas programables.

Se ha decidido que el primer tipo de indicación la luz emitida sea fija y en la segunda indicación intermitente (dos o tres pulsos de luz) cada vez que suceda el fallo. Esta diferenciación se hace para distinguir los diferentes tipos de indicación, además en el segundo caso se puede parar la máquina o no depende ya de la programación sucesiva.

CAPÍTULO 6:

MEJORAS FINALES PARA

LA COSEDORA

En este capítulo se muestra la selección final de elementos referentes al análisis de mejoras del capítulo la cosedora, así como la manera de llevarlo a cabo y su instalación.

6.1. Detección de fallo de grapa

El sensor escogido será el mismo que para el tiempo de detección del sensor fallo de pliego (modelo IR12. P04F-11111236), pues es inductivo y la distancia de detección es relativamente corta también.

Se instalará justo después de grapar a la distancia de un ciclo máquina para facilitar la programación y a distancia también de un ciclo máquina respecto el rechazo de pliegos, esto es justo donde se indica en la imagen.

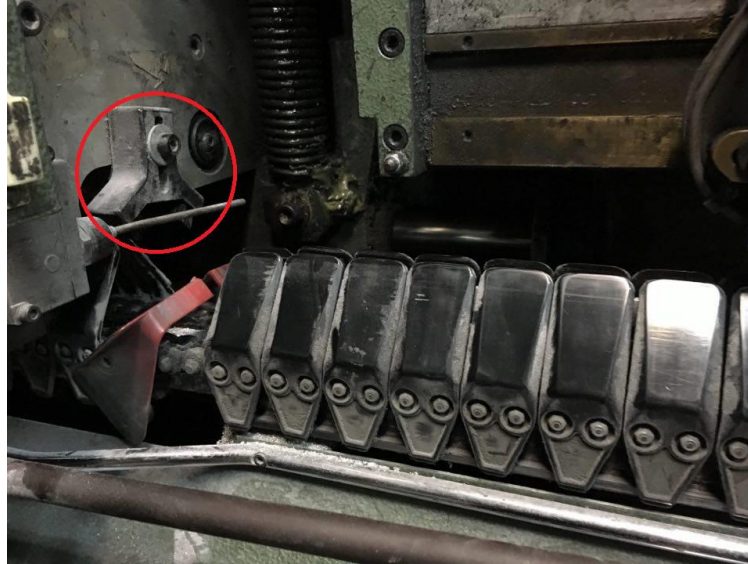


Figura 45. Colocación sistema detección fallo de grapa.

Se observa una pieza metálica que hace pasar los pliegos por debajo y un microinterruptor que detecta bloqueos de papel después del cosido.

Se ha pensado pues, en quitar esa pieza metálica y mandar fabricar una de tamaño y forma parecida de fibra o plástico para poder introducir el sensor mediante taladro. La pieza a fabricar debe tener una forma parecida para que permita deslizar los pliegos bajo su arco en caso de que puedan chocar y debe permitir sujetar bien el sensor estando este lo más próximo a las grapas que pasen. Para anclar esta pieza se ha pensado en dos piezas en forma de L. El mecanismo no rotará pues está apoyado sobre pared también. Se ha dispuesto de la forma siguiente:

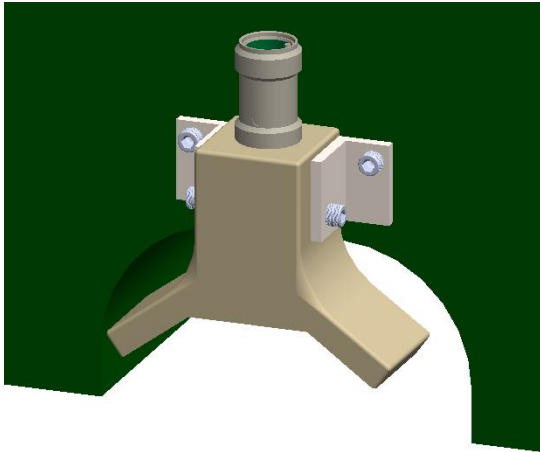


Figura 46a. Vista dimétrica. Anclaje y colocación del sensor inductivo para grapa.

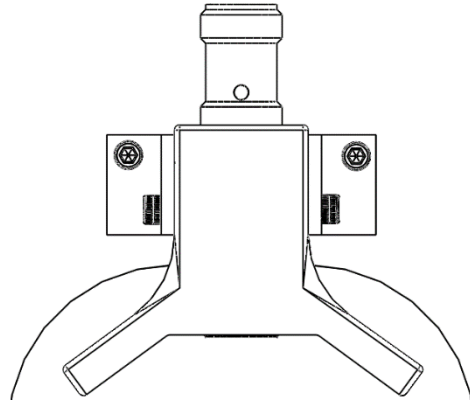


Figura 46b. Vista frontal. Detalle del montaje

El conector será de otro tipo al usado en apartados anteriores pues no debe ser tan rígido si queremos llevar la señal de este sensor hasta el PLC, ya que este sensor se encuentra bastante mal ubicado y queda todo el cable completamente visible a no ser que se haga taladro por dentro de la chapa.

6.2. Localización del fallo

La mejora pensada se basará en una columna de lámparas de aviso o señalización de color rojo numeradas del 1 al 3 para indicar en que estación ha ocurrido el fallo. La numeración por cada estación es la siguiente:

1. Estación de Marcadores (los que haya instalados)
2. Estación Cosedora
3. Estación Guillotina Trilateral

El criterio de numeración seguido se debe al paso de los pliegos por la máquina dónde primeramente se encuentra la estación de Marcadores, pasan a la cinta hasta la Cosedora y finalmente acaban en la Guillotina Trilateral. La columna de señalización escogida es el modelo: Harmony tipo XVB de Schneider Electric. Se trata de una columna de señalización o baliza pre-cableada donde se pueden ir añadiendo módulos (lámparas y soportes dependiendo de la aplicación y localización). De manera esquemática se muestra el siguiente dibujo con tres lámparas LED de color rojo en forma de columna y su indicación numérica y además donde se instalaría la mejora.



Figura 47a. Lugar de instalación de la columna de señalización.



Figura 47b. Dibujo de la columna e indicación numérica.

Esta columna tal como se observa, será colocada justo encima de la estación Cosedora para que esté a la vista cuando ocurra cualquier fallo en alguna de las estaciones pues se encuentra justo en medio de la máquina.

CAPÍTULO 7:

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

A AUTOMATIZAR

Una vez descrito el funcionamiento de cada estación de la máquina y el estudio y realización de las mejoras correspondientes hay que analizar todo el conjunto y describir los requisitos funcionales que se desean para la máquina. En este capítulo también se muestra la metodología de desarrollo que se ha seguido y se seguirá a lo largo del trabajo y la planificación de las tareas.

7.1. Equipos y Sistemas

A partir de la interpretación y estudios de los manuales mecánicos y esquemas eléctricos se deciden los equipos y sistemas que participarán en el proyecto. A continuación, se cita y se describe cada equipo y sistema de equipos que intervendrá en la máquina.

7.1.1. Equipos

Los equipos se han codificado a posteriori en unas tablas que se verán en el próximo capítulo, la codificación ha dependido de la situación del elemento según la estación, su funcionalidad, que tipo de elemento es y cuantos hay. Se muestra pues el listado de señales que intervienen a lo largo de la automatización y que da la clave para conseguir el buen funcionamiento de la máquina.

A continuación, se resume y describe el listado de equipos que interviene en la máquina y se han decidido colocar:

- Compresor o bomba rotativa de palas: Es un compresor trifásico utilizado para la aspiración de las ventosas y creación de vacío cuando se quiera dejar caer el papel. También se utiliza en la tabla para que no se enganche el papel. En cada ciclo de máquina se aspirará si está dada la Producción (botón que se verá más adelante) y si el compresor está en marcha y se creará vacío mediante una especie de válvulas mecánicas que funcionan por ciclo y no se controlan. Para arrancar y parar solo se necesita una orden en cada caso instantánea. No dispone de sistema de refrigeración

controlable, simplemente dispone de un ventilador acoplado al eje que gira en consonancia y permite refrigerar el compresor. La simulación del elemento contempla el Guardamotor y Alarma de Confirmación de Marcha en caso de no adquirir el estado deseado si se da una orden de marcha.

- Motor Principal o Drive: Es el elemento principal de la máquina, el más importante se puede decir, pues mueve prácticamente toda la máquina sincrónicamente mediante un árbol o cardán. Este motor lleva un variador pues se necesita un inicio suave pero también un control de velocidad tipo rampa mediante PID. El Motor Principal y el variador se encargarán de iniciar el movimiento y de alcanzar consigna, el frenado dependerá de otro elemento que se cita después. Para el inicio y dado que es un motor trifásico asíncrono bastante potente se necesita de una señal de unos 500 ms que se mantenga para iniciar el movimiento. El arranque se realizará sin *latches* tendrá toda estructura tipo contactor mediante maniobra arranque paro de motor común. El motor es de un único sentido (eléctricamente), se puede mover hacia el otro sentido Manualmente con volante (no se dará el caso en este trabajo). Para el arranque es necesario que no exista ningún paro en ninguna estación, PE desenclavados, no alarmas, elección del modo de funcionamiento, pulsación de 500 ms de arranque, espera de 5 o 6 segundos de seguridad acompañado por bocina (esto se hace por normativa europea para ciertos motores potentes) y pulso de arranque de 500 ms una vez transcurrido el tiempo de seguridad. La simulación tendrá en cuenta la Alarma de Confirmación de Marcha, Alarma Consigna Velocidad no Alcanzada en ciertos segundos y térmico (no se usa Guardamotor pues el motor tiene variador y por lo tanto el inicio ya es suave y sin ruido magnético). La refrigeración del Motor Principal se lleva a cabo con un ventilador externo acoplado al eje, aunque a velocidades muy elevadas de la máquina tiene un mal funcionamiento. La máquina tiene limitación eléctrica de velocidad y aunque en teoría el potenciómetro deja girar hasta el máximo, la velocidad máxima no se podrá alcanzar del todo por seguridad. Comentar que el retardo provocado tanto en el inicio de la marcha del motor como en el de seguimiento de la consigna es pequeño, pues el motor en unos 4 o 5 segundos reales adquiere consigna y el inicio después de dar marcha es prácticamente inmediato (un segundo más o menos, aunque se simularán dos segundos).
- Freno ElectroMagnético o ElectroFreno: Freno trifásico acoplado al motor y utilizado para frenar el Motor Principal y asegurar que no se inicie el movimiento a no ser que se dé la orden correspondiente. En modo Manual el Freno queda inservible, el motor queda desconectado y se mueve mediante volante mecánicamente. En cualquier otro modo, el Freno Magnético actúa siempre y cuando el Motor Principal no esté en marcha. Cabe comentar que Freno y Motor son independientes (tienen alimentación independiente) por eso se ha creado ambos equipos separados y se controlan también por separado, aunque dependen el uno del otro. La simulación contempla Magnetotérmico y Alarma Forzada por funcionamiento incorrecto del equipo. Cabe comentar dos cosas, en primer

lugar, en simulación el freno actúa rápidamente (pocos ms) pues necesita actuar rápido ante cualquier tipo de frenada (emergencia, paros provocados, etc.), en segundo lugar, si el freno no va, el motor tampoco va y en caso de dejar de funcionar se para la marcha del motor, pero este debido a la gran inercia que lleva tarda más en parar. La única manera de parar el motor en seco es quitar la corriente que no se ha contemplado en el trabajo ya que no corresponde a la automatización de la máquina. La corriente se puede quitar al lado de la máquina en un pequeño armario colocado en una columna.

- Compresor de Aire Comprimido: Es el compresor utilizado para la mayoría de sistemas de la máquina en cuestión. Es un compresor trifásico con depósito de comprimido que inicia cada vez que hay poca presión y para cuando hay poca presión. Tiene reóstato en caso de que la presión se dispare y cierra el sistema. Suministra comprimido a los Marcadores, una válvula por marcador utilizada para engatillar o no las ventosas de aspiración, es decir, se controla el vaivén de la aspiración eligiendo así cuando se quiere bajar pliego. Se usa también en la Cosedora para engatillar o no el sistema de grapado, la máquina siempre grapará excepto cuando la válvula que controla el grapado quede abierta. También se utiliza el Rechazo de Pliegos como se explicará más adelante y para eliminar las tiras de papel cortado en la Guillotina Trilateral. Por último, se utiliza para lubricar la cadena colectora solo cuando se tira aceite de este modo en vez de caer gotas de aceite, este sale en forma de niebla, esto es muy usado en maquinaria. La simulación contemplará el Guardamotor, Alarma Confirmación de Marcha y Sistemas de Refrigeración (Aceite OK, Frio OK).
- Bombas para Lubricación: Se trata de dos bombas Vogel con depósito incluido guardadas en armarios metidos en la máquina muy especiales para sistemas de lubricación centralizados. Son dos bombas pues de corriente continua y cuya activación depende de si se mantiene la marcha o no. Pueden funcionar manualmente o bien automáticamente por ciclos/horas de funcionamiento de máquina, cada bomba es independiente de la otra, aunque el ciclo es el mismo para las dos y se pre-configura antes del arranque del Motor Principal. Se permitirá asignar segundos de duración de engrase y horas que faltan para engrase. Una de las bombas lubrica la estación de Marcadores, Cadena Colectora y Cosedora. La otra lubrica la Guillotina Trilateral. La simulación contempla Alarma Confirmación de Marcha, Alarma Forzada por mal funcionamiento del equipo (no tiene térmico, es un motor DC), simulación de vaciado de tanque, detección nivel mínimo con su alarma correspondiente y rellenado de depósito en cualquier momento (incluso con la máquina en marcha). Además, se contempla el caso de lubricación excesiva (se puede quedar el botón pulsado) y también se contempla el caso de falta de lubricación por ciclo, en este caso se avisa solamente y solo se reinicia el aviso cuando se lubrica manualmente. Comentar que los fueras de servicio solo desactivan las bombas, en otros sistemas pondrán alarma pues se trata de equipos más críticos que nos interesa señalar su bloqueo.

- Electroválvulas (TODO/NADA): La máquina dispone de muchas válvulas controladas eléctricamente que permiten el funcionamiento de sistemas y en general de que la máquina funcione. Habrá una válvula para cada Marcador de comprimido para engatillar o no la válvula que da el vaivén a las ventosas. Una válvula para engatillar o no el sistema de grapa. Válvula para soplado en Guillotina Trilateral para eliminar papel sobrante. Válvula de comprimido para lubricar en Cadena Colectora. Válvula para el paso de aceite de la bomba de Marcadores hacia Cadena Colectora, válvula paso de aceite de la bomba de Marcadores hacia Marcadores y Cosedora. Válvula para paso de aceite de la bomba de la Guillotina Trilateral hacia la propia guillotina. Hay más con funciones meramente auxiliares y de sistemas que no se han tenido en cuenta pues la máquina es sumamente extensa y ampliable debido a los módulos/estaciones que se pueden ir insertando para mejorar el funcionamiento y calidad del producto. La simulación contempla Alarma Cambio de Posición y Alarma Forzada por mal funcionamiento del equipo. Los tiempos de apertura y cierre de válvula varían según si son de comprimido, o para el paso de aceite. Las válvulas en alarma se quedarán en la posición que estaban justo antes de la alarma para no forzar, se bloqueará el sistema sujeto a estas y volverán a la posición inicial (normalmente cerrada o abierta dependiendo de la válvula) una vez el error sea solventado y se reinicie el equipo. Los fueras de servicio no ponen en alarma las válvulas solo las desactivan.
- Rechazo de Pliegos: La máquina dispone de un equipo destinado al rechazo de pliegos basado en una válvula de 4 vías y 2 posiciones para el control de un cilindro neumático de doble efecto que permitirá rechazar el pliego defectuoso cuando le llegue su ciclo.
- Motor doble sentido de giro: Una de las mejoras ha sido la colocación de dos motores en cada Marcador para el ajuste de los pliegos en la tabla de alimentación. Estos motores son de corriente continua con reductor acoplado (caja negra de engranajes) que permiten más fuerza y menos velocidad. Tendrán un control parecido a lo que sería un servomotor real para poder controlar la posición de los topes y manejar el ajuste. Cada Marcador dispone de dos motores uno para ajuste lateral y otro para ajuste frontal, ambos de doble sentido de giro. La simulación contempla Alarma Confirmación Marcha, Alarma Confirmación de Posición, Alarma Cambio de Sentido y Alarma Forzada por mal funcionamiento del equipo. La consigna de posición se podrá dar por separado a los motores laterales y a los motores frontales, cabe decir que para no limitar su uso, se puede dar consigna siempre aunque la máquina principal esté en marcha pues corresponde al operario su buen uso.
- Detectores de las estaciones: Hay muchísimos detectores como se podrá ver luego en las tablas, estos cambian de posición dependiendo de la

detección o no. Tienen también Alarma interna simulada, el operario verá si funciona mal y el mismo decidirá si seguir Produciendo o no.

- Transmisores e Indicadores: Se contempla el *encoder* que llevan los Motores de Ajuste de pila y el Motor Principal. Aunque la máquina tiene varios paros de presión estos quedarán simulados mediante los detectores (detecta mucha o poca presión) y en ese caso parará la máquina. La simulación contempla Alarmas internas.
- Sistema: Equipo que contempla todos los botones y mando principales para gobernar los equipos y permite visualizar los datos clave. Se recreará igual que un panel de mando típico de máquina, solo quedará simulado los paros de emergencia que es mejor que sean físicos y no estén en el ordenador.

7.1.2. Sistemas

- Drive y Freno: Sistema formado por el Motor Principal y el Freno Magnético. Alimentados por separado y por lo tanto el control es separado, pero dependen el uno del otro. En modo Manual ninguno de los dos puede funcionar. En cualquier otro modo el freno solo actúa mientras el motor no está en marcha.
- Sistema de Lubricación: Formado por las dos bombas con depósito y sus válvulas. Tiene dos modos de funcionamiento, manual y automático por ciclo. El modo manual puede funcionar a la vez con el automático. Se permite introducir el número de segundos que se quiere lubricar en automático y cada cuanto se debe engrasar. Cada bomba es independiente la una de la otra. Las válvulas abren y cierran en consonancia con la bomba al menos que esta no esté en servicio o este en alarma. Hay dos sistemas de lubricación, el de la máquina Cortadora y la lubricación de Marcadores, Cosedora y Cadena Colectora. Cada sistema es independiente y si un elemento del sistema no funciona ese sistema no engrasará hasta ciclo siguiente si es reparado, evitando así engrases desiguales ya que tenemos el modo manual para corregir esto. Se programará una puesta en servicio, fuera de servicio y *reset* global de cada sistema. Los servicios, fuera de servicios y *resets* en las válvulas solo se podrán controlar desde lo mencionado anteriormente, las bombas también son controladas mediante este sistema, aunque tienen su propio servicio, fuera de servicio y *reset*.
- Marcadores (Marcador 01, 02 y 03): Formado por detectores, válvulas, paros (tapas de seguridad) y seleccionadores de puesta en

marcha. Se ha creado un tipo *Feeder* o Marcador para controlar el papel desde que se alimenta la tabla hasta que baja a la cadena, incluye todos los elementos citados anteriormente. Comentar que se ha simulado un embrague para cada Marcador que permitirá poner en marcha o no en caso de que el seleccionador eléctrico también coincida, el Marcador correspondiente.

- Cosedora: Formada por el sistema de grapado con su válvula correspondiente, paros de máquina (tapas de seguridad), detección de grapa y control de grosor. El sistema de rechazo *Delivery* se incluirá como subsistema de la cosedora pues forma parte de esta.
- Guillotina Trilateral: Este sistema está formado por sus dos tapas de seguridad, contador de ejemplares, válvula para eliminación de papel sobrante y paro por papel encallado.

7.2. Requisitos funcionales

Unos de las premisas fundamentales antes de empezar a automatizar es tener redactado una lista de requisitos funcionales de forma clara, precisa y no ambigua sobre como va a funcionar nuestra máquina a nivel de PLC y SCADA. Sirven de guía básica para el ingeniero que va a automatizar. A medida que se avance en el proyecto se irán añadiendo más requisitos que han aparecido en la máquina que se va a automatizar.

Cada requisito ha sido numerado como RQ1, RQ2, RQ3, etc. También se indica si el requisito pertenece a la parte de SCADA, PLC o ambos. Por último, se indica si se ha cumplido o no. Debido a la extensión y tamaño de la tabla creada se ha considerado oportuno adjuntarla en los anexos de forma electrónica.

7.3. Metodología de desarrollo y planificación de tareas

Se plantea una metodología a seguir y una planificación de tareas para la realización del proyecto. La metodología debe ser de tal manera que permita poder ir avanzando gracias a la obtención de resultados anteriores previamente comprobados, es decir, no se puede seguir adelante hasta que se complete la fase previa de la que depende la siguiente parte evitando así cualquier retorno y por lo tanto pérdida de tiempo. El orden de trabajo que se intentará seguir es el siguiente:

1. Búsqueda de información, visitas a las instalaciones toma de fotos, vídeos, dibujos de la máquina, preguntas al operario, etc. Este primer punto puede

también realizarse en otras etapas del proyecto pues uno no sabe nunca cuánta información va a necesitar hasta que se empieza a hacer la faena, será necesario más de una visita a la fábrica para obtener toda la documentación necesaria.

2. Estudio de manuales mecánicos para el buen entendimiento de la máquina que se va a mejorar y automatizar. Concretamente se empezará a estudiar por orden los siguientes manuales: Marcadores, Cosedora, Guillotina Trilateral, Libro Resumen de las tres estaciones.
3. Una vez se acabe un manual y obtenida toda la información, se plantean las posibles mejoras para la estación.
4. Planteadas las mejoras, se discuten con el operario y se elige la mejor, por descarte de las otras. Es importante hablar con la persona que va a usar la máquina pues queremos facilitarle el trabajo y no complicárselo más. Los requisitos para la elección de una mejora son entre otros: menor coste, fácil instalación, menor modificación mecánica y eléctrica en la máquina, utilidad, reducción de tiempos y mejora en la calidad del producto.
5. Una vez se ha elegido la mejora se realiza un estudio de cómo llevarla a cabo, se contemplará la instalación, el diseño mecánico, elección de componentes y características mecánicas y eléctricas que permitan llevar a cabo la mejora con la garantía de que va a funcionar
6. Mejoradas todas las estaciones (algunas mejoras ya que son muchas las que se podrían hacer, se plantearán, pero se proponen para hacerlas en un futuro), se comienza a estudiar los planos eléctricos. Esto dará un mejor conocimiento de que equipos y sistemas tiene la máquina y cómo funcionan. Es muy importante esta parte pues de ello depende el posterior buen funcionamiento de la automatización
7. Redacción memoria de la parte de Mejora del trabajo.
8. Planteamiento de todos los equipos y sistemas necesarios para llevar a cabo la automatización. Zonificación de la máquina por estaciones y creación de las tablas de intercambio de datos. Algunas tablas se irán creando conforme se avance pues todo depende de si se quiere ampliar o acortar el proyecto en función del tiempo disponible.
9. Redacción de los requisitos funcionales que tiene que tener la máquina, cabe decir que a medida que se avance se irán añadiendo más requisitos pues es difícil verlos todos a primera vista una vez se empieza a automatizar.
10. Creación de los equipos en el PLC y creación de su lógica. El buen funcionamiento de cada equipo será comprobado con el propio controlador del programa (ventana donde aparecen los *tags* y se permiten modificar)

11. Configuración de las comunicaciones entre PLC y SCADA.
12. Creación de la Simulación de cada equipo.
13. Creación ventanas SCADA para Equipos y prueba de estos.
14. Creación y programación de los sistemas en el PLC, realización de lazos y posterior simulación y creación en SCADA de las pantallas que permiten el control en el SCADA
15. Realización de las pantallas restantes en SCADA: Alarmas, Usuario, Información, Gráficas, etc.
16. Pruebas de funcionamiento de todo el sistema por equipo, luego por equipos del sistema o estación y funcionamiento global.
17. Redacción memoria parte de Automatización y SCADA
18. Realización de Anexos mediante la documentación adjunta (*Datasheets*, Manuales, Fotos, Videos, Pantallas SCADA, etc.), la programación del PLC también se incluirá en el Anexo pues es muy extensa, en la memoria se citará todo lo necesario para el buen entendimiento del proyecto.
19. Realización estudio de presupuestos.

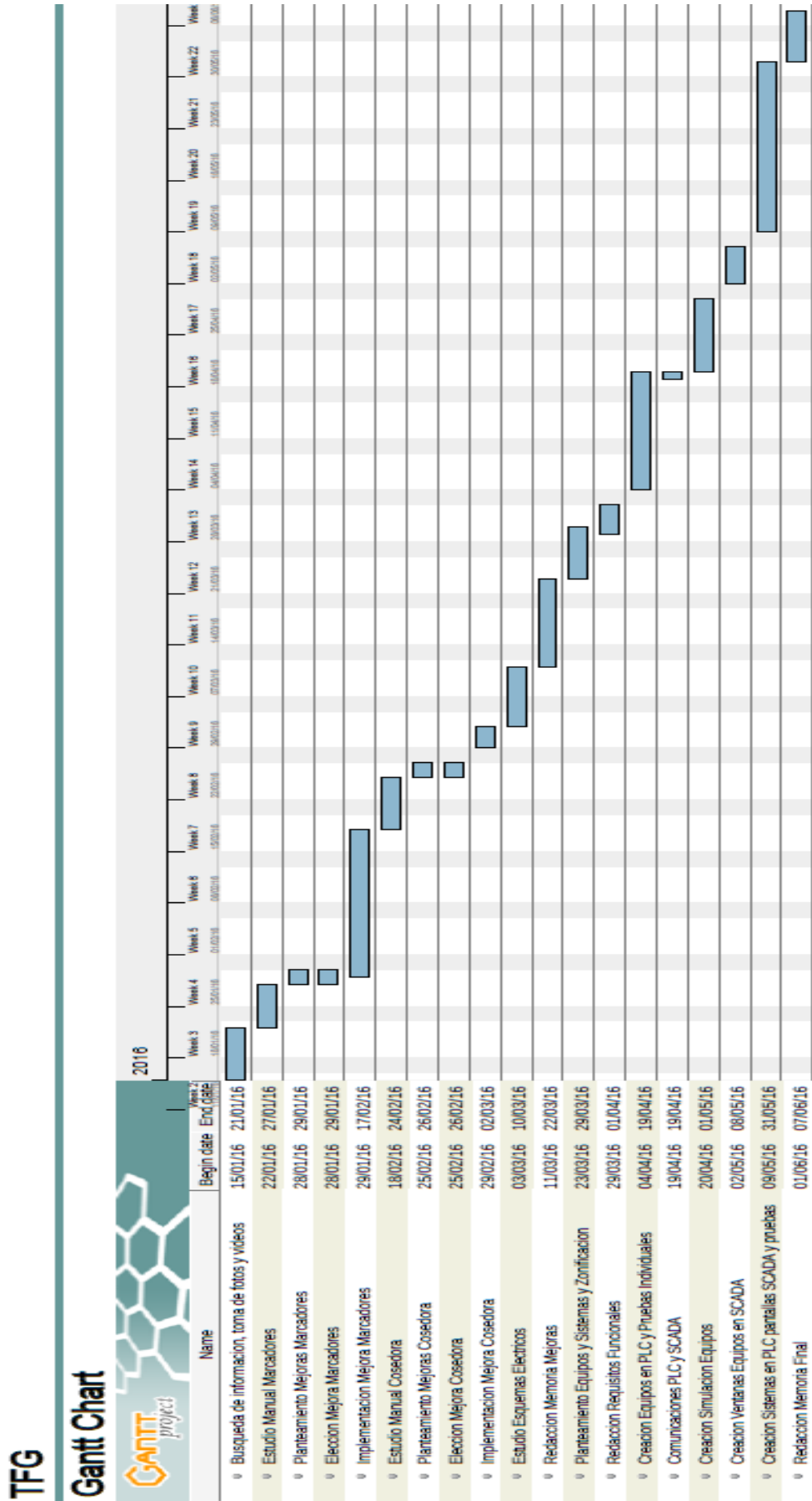


Figura 48. Diagrama de Gantt con GanttProject.

7.4 Recursos

A continuación, se describen los recursos utilizados para llevar a cabo el proyecto

- VM VirtualBox. Se trata de una máquina virtual que contiene la mayor parte de programas que van a ser usados en el proyecto. Las máquinas virtuales permiten hacer copias del sistema rápidamente y permite ejecutar sistemas operativos como Windows XP (compatible con la mayoría de programas) en ordenadores que tengan por ejemplo Linux u otros sistemas operativos.
- RSLogix 5000. Software de Rockwell Automation utilizado en el proyecto y que permite programar PLCs de la misma casa.
- RSLogix Emulate 5000. Herramienta que permite emular un PLC y permite descargar en él, el programa realizado. Se comporta como lo haría un PLC real en cuanto a lectura y generación de señales.
- RSLinx Classic. Programa utilizado para realizar las comunicaciones PLC – SCADA. Se ha utilizado protocolo DDE ofrecido por Windows para la comunicación entre aplicaciones. Se encargará pues de transmitir información entre ambos sistemas.
- InTouch. Software de Wonderware orientado a la monitorización y control de sistemas automatizados. Se trata del software utilizado como SCADA en el sistema automatizado.
- SolidWorks. Software de diseño CAD en 3D. Se ha utilizado para representar las mejoras de la máquina.
- GanttProject. Software para la planificación temporal del trabajo fin de grado.
- Dropbox. Plataforma *online* que ha permitido realizar el proyecto en distintos ordenadores sin tener que pasarlo todo a un dispositivo de memoria extraíble.
- Manuales de máquinas. Manual de uso mecánico de cada estación, resumen de manuales y esquemas eléctricos de la máquina completa y otras estaciones que se pueden agregar.
- Dispositivos. Ordenador portátil, ordenador fijo, cámara de fotos, móvil, disco duro.
- Otros. Videos, fotos, recursos *online*, visitas a las instalaciones, etc.

CAPÍTULO 8: IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se ha introducido toda la información relacionada con el software diseñado para automatizar el proceso estudiado.

8.1. Arquitectura del sistema de control

En este apartado se describen los aspectos más generales del sistema de control.

8.1.1. Hardware del Sistema

Éste es un proyecto de mejora y de software, por lo que el diseño del hardware no es una parte a considerar al menos para la máquina original ya que está completamente creado. Aún y así no está de más analizar cómo se ha planteado el trabajo. La automatización se ha planeado para ser controlada por un solo PLC, que es el caso real de la máquina que se está automatizando, que estará conectado a varios módulos de entradas y salidas analógicas y digitales. Los equipos se conectarán a estos módulos con cables individuales, y queda pendiente para posibles ampliaciones realizar las comunicaciones mediante bus ya que la máquina original tiene un control centralizado. El PLC de la máquina se conectará al SCADA InTouch de Wonderware mediante Ethernet. Para la mejora no haría falta adquirir nuevas tarjetas de entradas y salidas pues las que ya dispone la máquina original no están totalmente ocupadas dejando espacio así para ampliaciones y otras estaciones que se quieran incorporar siempre preguntando al distribuidor del PLC de la máquina ya que podrían estar reservadas las entradas para otros fines.

8.1.2. Software del Sistema

A continuación, se describe el software empleado de cara a la segunda parte del trabajo, pues en el apartado de recursos ya se ha descrito en detalle que se ha usado para hacer la mejora y a grandes rasgos todo lo demás.

El software utilizado para la automatización ha sido RSLogix 5000 de Rockwell Automation/Allen Bradley. Para la realización del SCADA se ha usado InTouch de Wonderware que se conecta al controlador mediante Ethernet.

La simulación ha sido embebida en el propio PLC. Para la recreación del controlador se ha simulado mediante el RSLogix Emulate 5000 que a efectos prácticos hará de PLC real.

Las comunicaciones han sido realizadas mediante RSLinx con comunicación DDE para el SCADA (comunicación entre aplicaciones Microsoft tal como se verá en el siguiente apartado).

También se ha utilizado otras herramientas descritas en el apartado de recursos.

8.1.3. Visión global de las comunicaciones

Como se ha comentado ya, las comunicaciones se realizan utilizando RSLinx. Tanto PLC como SCADA intercambian los denominados *tags* a partir de este software. El PLC utiliza OPC (OLE for Process Control) para las comunicaciones, un protocolo cliente – servidor que permite la comunicación y el intercambio de datos entre componentes software individuales. Se trata de un protocolo abierto que evita los problemas relacionados con la utilización de drivers propietarios.

El SCADA utiliza el protocolo DDE para comunicarse. DDE es una tecnología de comunicación entre aplicaciones Microsoft que permite que una aplicación abra una sesión en otra, enviar comandos al servidor de aplicaciones y leer las respuestas. Los dos protocolos se interrelacionan utilizando RSLinx, el software explicado en el sub-apartado anterior que se convierte en un servidor con el que se relacionan los clientes. A continuación, veamos cómo se han configurado las comunicaciones en el proyecto realizado.

Primero de todo hay que crear el PLC en RSLogix5000. Como se trata de una simulación se crea un PLC para el emulador.

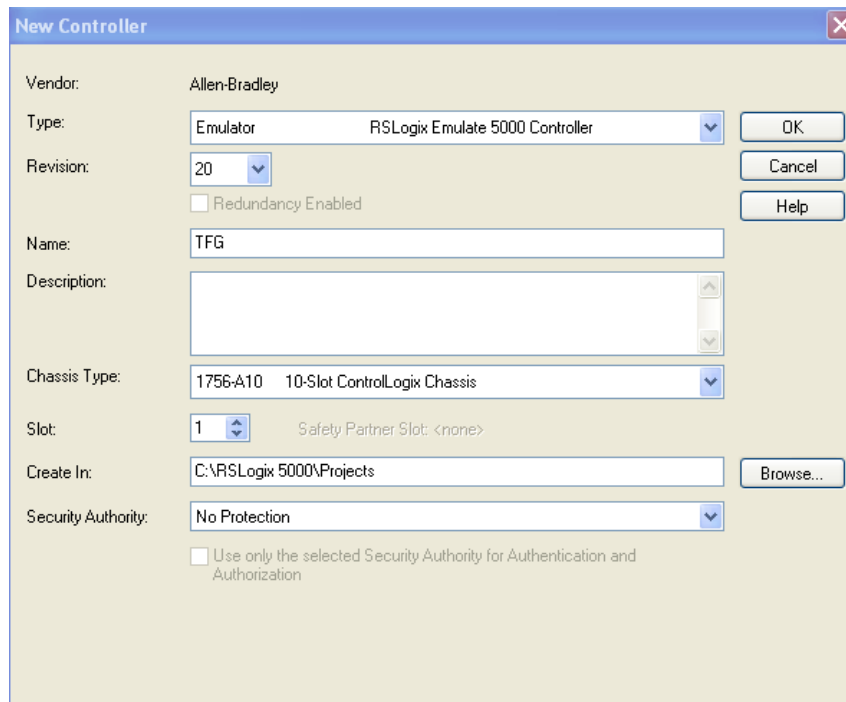


Figura 49. Configuración de RSLogix 5000.

El siguiente paso es crear la CPU del PLC en el chasis de RSLogix Emulate 5000, que será donde se descargará el programa. En la siguiente imagen se puede ver la interfaz de este programa con la CPU ya configurada:

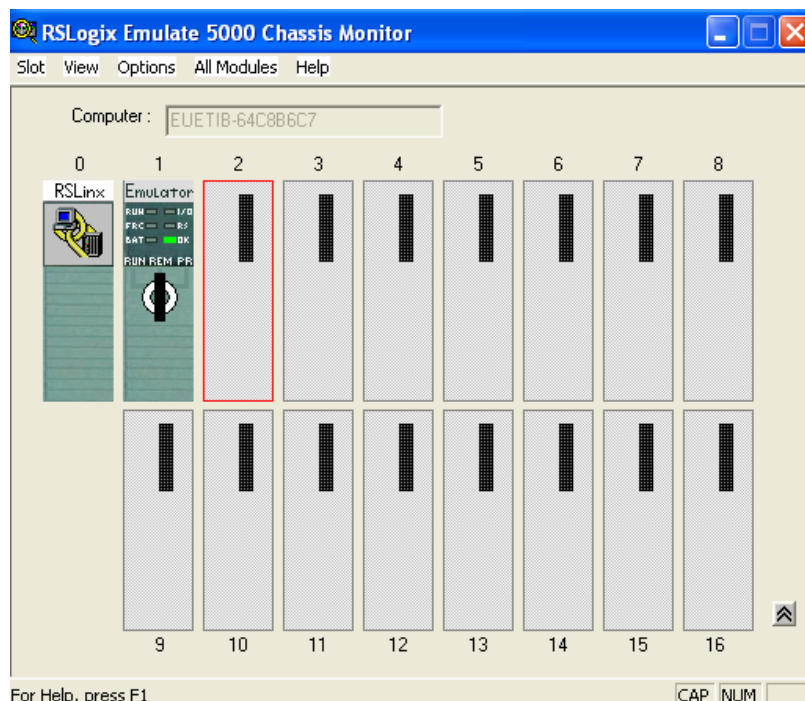


Figura 50. Configuración de RSLogix Emulate 5000.

No se han creado módulos de entradas y salidas simulados ya que éstos se crearán dentro del propio programa del PLC de forma embebida. Una vez configurados

RSLogix 5000 y RSLogix Emulate 5000, solo queda configurar RSLinx para las comunicaciones.

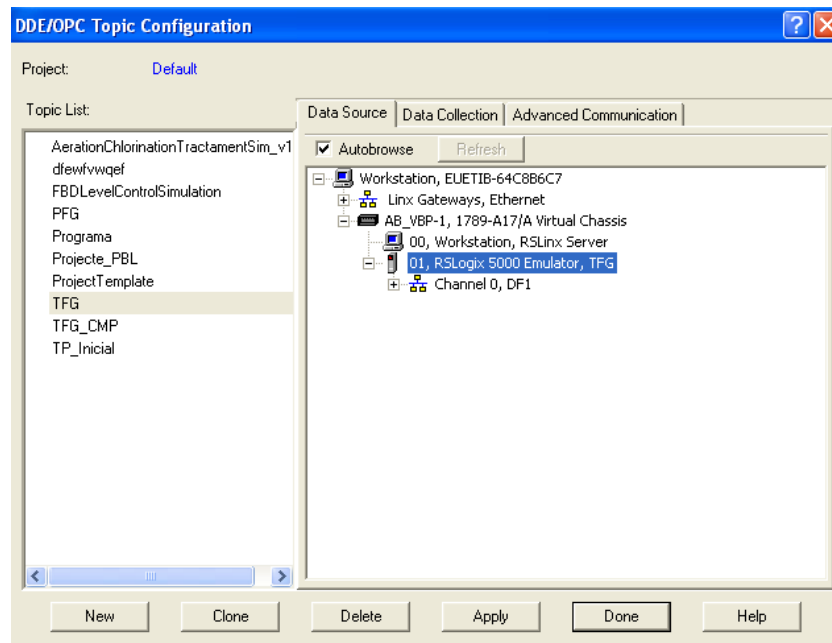


Figura 51. Configuración de RSLinx.

Para la simulación se crea un driver para la comunicación (en la imagen anterior AB_VBP), que sirve para enlazar la CPU de Emulate con RSLinx. Seguidamente se crea el tópico encargado de las comunicaciones vía DDE. En este caso el tópico se llama "TFG". Finalmente, para realizar la comunicación solo queda crear un *Access name* en InTouch con el protocolo DDE y el tópico "TFG" y enlazar las señales que se creen en InTouch a este *Access name*. La creación del *Access name* y la configuración de las señales en InTouch se pueden ver en la siguiente imagen:

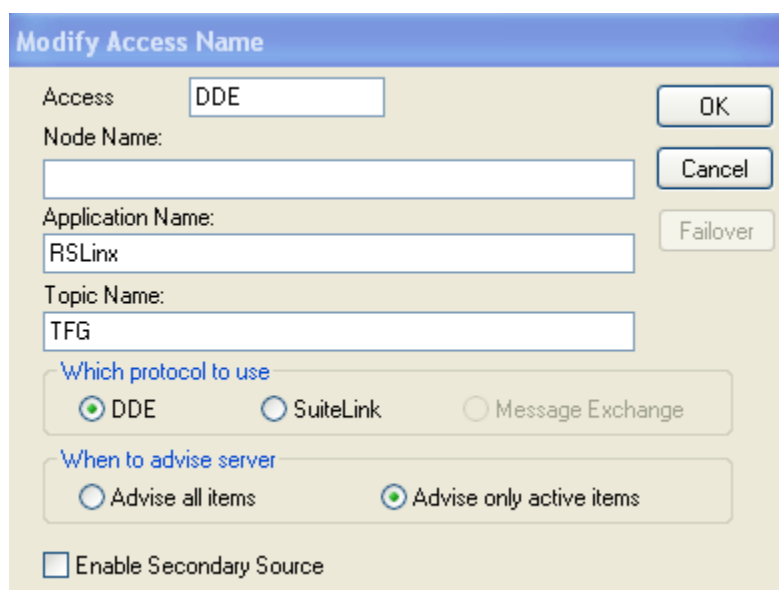


Figura 52. Creación del Acces Name y del Tópico.

Tagname Dictionary

Main Details Alarms Details & Alarms Members

New Restore Delete Save << Select... >> Cancel Close

Tagname: TR_OPM_E_SERVICE Type: ... I/O Discrete

Group: ... \$System Read only Read Write

Comment: TR_OPM

Log Data Log Events Retentive Value

Initial Value On Off

Input Conversion Direct Reverse

On Msg: Off Msg:

Access Name: ... DDE

Item: TR_OPM.E_SERVICE Use Tagname as Item Name

Figura 53. Ejemplo de creación de una señal con su Acces Name.

Para la detección de errores en las comunicaciones, RSLinx dispone de una herramienta que monitoriza las señales que están siendo comunicadas entre PLC y SCADA. Es muy útil en la configuración de la comunicación, en la siguiente imagen se puede ver esta herramienta:

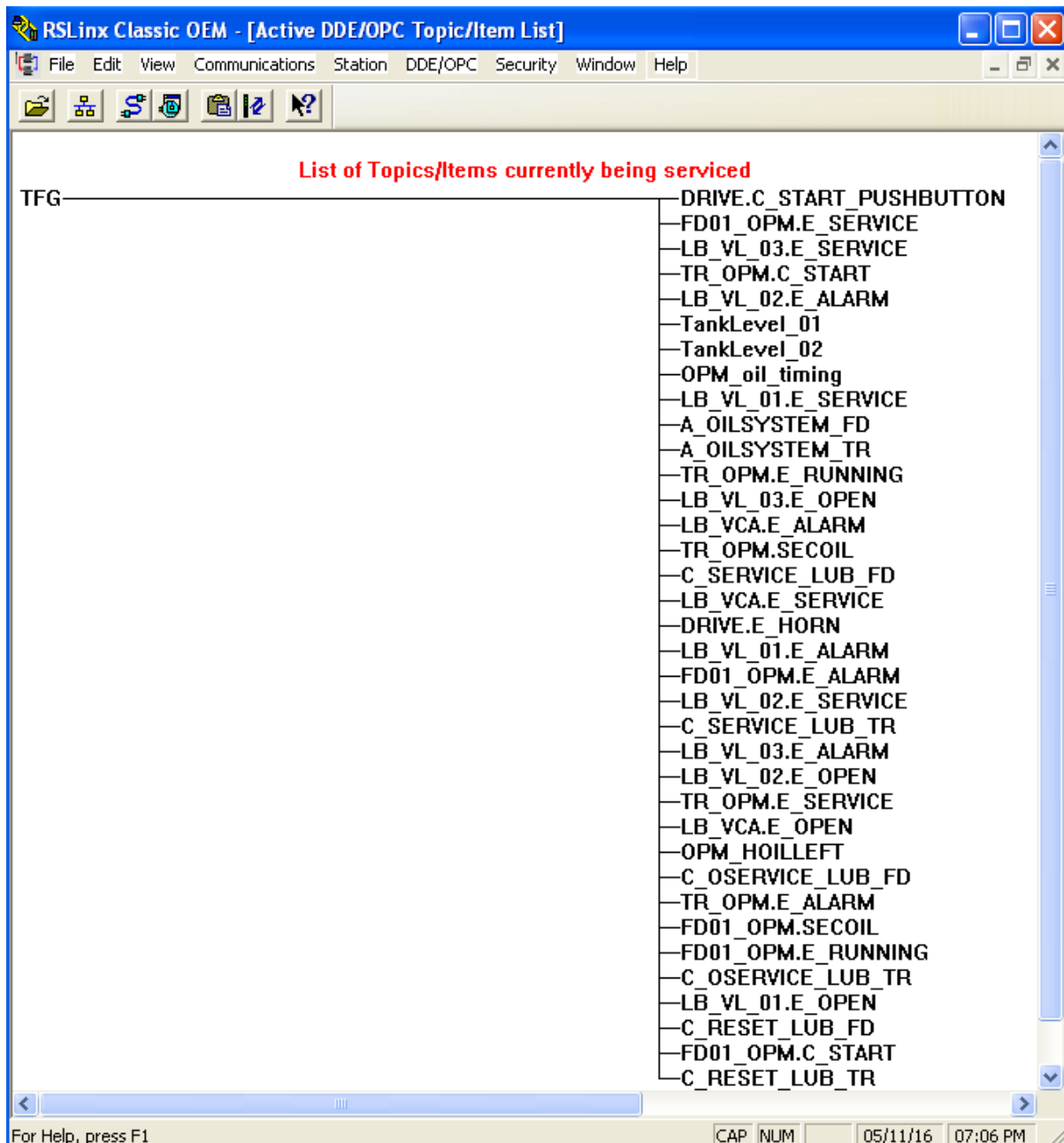


Figura 54. Ventana de RSLinx sobre los tópicos e ítems activos.

Comentar que solo muestra las señales de la ventana que esté abierta en ese momento en el SCADA. Sirve para ver si el estado de las señales es correcto o no, a menudo se producen fallos en las comunicaciones inesperados y esta ventana permite ver en que señal está el fallo si sale, si no sale la señal existen multitud de causas, mala comunicación, no se ha creado el *tag*, se ha creado pero incorrectamente, etc.

8.2. Codificación de elementos y sistemas

En este apartado se muestra la codificación utilizada para los equipos y sistemas de la máquina.

8.2.1. Codificación de equipos o elementos

Para la codificación de los equipos se ha pensado en un método que permita la localización rápida de este, una fácil identificación y en caso de que existan varios de cual se trata.

Como ejemplo a citar tenemos la siguiente codificación:

FD02_MTD_01

Se indica la zona o estación del elemento, Marcador (FD - Feeder), en el caso de que existan varias estaciones iguales se indica en cual está, en este caso la segunda (02). A continuación, separado por el símbolo "_" se cita el tipo del elemento (MTD - Double Motor) que significa Motor Doble Sentido de Giro. Por último y separado por "_" se indica que motor es en caso de que haya más de uno (01).

Comentar que hay casos de codificación especiales donde con solo citar el elemento se sabe su localización y todos los demás datos gracias a su importancia y tamaño en la máquina. Es el caso del Motor Principal (DRIVE), el Compresor Rotativo de Palas (RVC - Rotary Vane Compressor) o el Compresor de Comprimido (ABC - Air Blast Compressor).

Toda la codificación se ha hecho en inglés pues en los esquemas eléctricos cuando se nombra a los elementos también se citan en inglés incluso en alemán.

Luego hay casos de codificación que no ha sido posible acortar el tipo de equipo con siglas, se podría haber realizado, pero hubiese dado muchísima confusión a la hora de programar y localizar el objeto. Aun así, se ha seguido cierta nomenclatura referente a los esquemas eléctricos. Es el caso de ST_SHEETCONTROL donde se indica la estación Cosedora (ST - Stitcher) seguido del tipo de elemento o sistema de detección (SHEETCONTROL).

La máquina tiene multitud de equipos algunos (pocos) no se han podido incorporar debido al tiempo para hacer el trabajo. Todos los demás como se ha comentado anteriormente están codificados según a la zona o estación a la que pertenecen.

En la tabla que sigue, se puede ver el listado de equipos, los tags de los equipos, los tipos de los elementos y sus descripciones:

Tabla 2. Listado de equipos y codificación.

Listado de Equipos: Area_Nombre_Equipo_Número			
Equipo	Tag equipo	Tipo equipo	Descripción
1	FD01_OPM	OPM	BOMBA DE IMPULSIÓN DE ACEITE PARA FDOX, ST Y CADENA COLECTORA
2	TR_OPM	OPM	BOMBA DE IMPULSIÓN DE ACEITE PARA TR
3	LB_VL_01	V	VÁLVULA TODO/NADA LUBRICACIÓN DE ESTACION COSEDORA Y MARCADORES
4	LB_VL_02	V	VÁLVULA TODO/NADA LUBRICACIÓN DE CADENA COLECTORA
5	LB_VL_03	V	VÁLVULA TODO/NADA LUBRICACIÓN DE GUILLOTINA TRILATERAL
6	LB_VCA	V	VÁLVULA TODO/NADA COMPRIMIDO PARA LUBRICACION DE CADENA COLECTORA
7	FD0X_DDS	DS	SENSOR REFLEXIVO DIFUSO PARA LA DETECCIÓN DE FIN DE CARGA DE PAPEL
8	FD0X_RDS	DS	SENSOR ÓPTICO REFLECTIVO PARA FALLO DE PLIEGO
9	FD0X_IDS	DS	SENSOR DE PROXIMIDAD INDUCTIVO TIEMPO DE DETECCIÓN FALLO PLIEGO
10	FD0X_REARHOOD	DS	FINAL DE CARRERA PARA CAPOT TRASERO
11	FD0X_FRONTHOOD	DS	FINAL DE CARRERA PARA CAPOT DELANTERO
12	FD0X_TABLE	DS	FINAL DE CARRERA PARA TABLA
13	FD0X_CLUTCH	DS	FINAL DE CARRERA EMBRAGUE MARCADOR
14	FD0X_VCA	V	VÁLVULA TODO/NADA ASPIRACION PARA MARCADOR 0X
15	FD0X_MTD_01	MTD	MOTOR DOBLE SENTIDO DE GIRO PARA AJUSTE LATERAL DE TOPES
16	FD0X_MTD_02	MTD	MOTOR DOBLE SENTIDO DE GIRO PARA AJUSTE PROFUNDIDAD DE TOPE
17	FD0X_PIT_01	IT	INDICADOR TRANSMISOR DE POSICION 01 (ENCODER)
18	FD0X_PIT_02	IT	INDICADOR TRANSMISOR DE POSICION 02 (ENCODER)
19	ABC	ABC	COMPRESOR DE AIRE COMPRIMIDO PARA MULTITUD DE SISTEMAS
20	RVC	RVC	COMPRESOR ROTATIVO DE PALAS PARA VACIO Y EXPULSIÓN DE PLIEGOS
21	DRIVE	DRIVE	MOTOR PRINCIPAL ASINCRONO TRIFASICO CON VARIADOR
22	MB	MB	FRENO ELECTROMAGNÉTICO PARA MOTOR TRIFASICO PRINCIPAL
23	SIT	IT	INDICADOR TRANSMISOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR PRINCIPAL
24	ST_ROLLERGUIDE	DS	FINAL DE CARRERA CON GUÍA
25	ST_SHEETCONTROL	DS	CONTROL DE GRUESO DEL EJEMPLAR
26	ST_JS_01	DS	FINAL DE CARRERA PRECOSIDO
27	ST_JS_02	DS	FINAL DE CARRERA POSTCOSIDO
28	ST_BIGHOOD	DS	FINAL DE CARRERA PARA CAPOT DE PROTECCION GRANDE
29	ST_VCA_01	V	VÁLVULA TODO/NADA AIRE COMPRIMIDO PARA SECUENCIA DE GRAPADO
30	ST_SMALLHOOD	DS	FINAL DE CARRERA PARA CAPOT DE PROTECCION PEQUEÑO
31	ST_IDS	DS	SENSOR DE PROXIMIDAD INDUCTIVO PARA DETECCIÓN DE GRAPA
32	ST_DAC	V	CILINDRO DOBLE EFECTO ELECTROMECHANICO VALVULA 4 VIAS 2 POS
33	TR_V	V	VÁLVULA TODO/NADA AIRE ELIMINACIÓN RECORTES DE CORTADORA
34	TR_LDS	DS	SENSOR ÓPTICO LASER PARA LA DETECCIÓN DE EJEMPLARES COMPLETOS
35	TR_HOOD_01	DS	CAPOT DE PROTECCION 1
36	TR_HOOD_02	DS	CAPOT DE PROTECCION 2
37	TR_JAM	DS	DETECTOR BLOQUEO PAPEL EN CORTADORA

Tabla 3. Estaciones/zonas creadas para la codificación.

Listado Areas
Area
ST - Stitching Machine
FD01 - Feeder nº 1
FD02 - Feeder nº 2
FD03 - Feeder nº 3
TR - Three-Knife Trimmer
OTROS: LB - Lubrication

8.2.2. Codificación de sistemas

Los sistemas creados son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Sistemas creados para la automatización.

Listado de Sistemas de Control
Sistemas
ST - Stitching Machine
FD01 - Feeder nº 1
FD02 - Feeder nº 2
FD03 - Feeder nº 3
TR - Three-Knife Trimmer
DEL - Delivery
Control DRIVE and MB
Control MTDs
Control Lubrication

Parte de los sistemas tienen misma nomenclatura que las estaciones pues es así como se ha dividido la automatización. Se crearán tipos (ST) por ejemplo habiendo elementos que ya se codifican con (ST), esto no da lugar a confusión porque los tipos creados solo indicarán estados, ordenes, etc. Se consigue con este uniformizar toda la estación con una misma codificación única y lógica. Hay sistemas sin embargo que no tienen creados un tipo pues son la unión de varios equipos estrechamente relacionados, es el caso de (DRIVE) y (MB) que forman un sistema de control o bien los (MTD) e incluso la lubricación (LUBRICATION) que está formada por muchos equipos (válvulas, bomba, detectores y otros elementos). En conclusión, se puede decir que la codificación para sistemas no es tan estricta como en los equipos pues no es necesaria.

8.3 Tipos y Fichero de intercambio PLC – SCADA

Los tipos son tablas creadas con todas las señales referentes a un equipo o sistema. Cuando se crea un tipo se puede consultar toda la información referente al elemento, en el salen los estados adquiridos, ordenes que se pueden dar y otro tipo de datos. Los datos introducidos pueden ser Reales, Booleanos, Enteros, etc.

El contenido de las tablas también queda codificado así todas las señales de los diferentes tipos que intervienen tienen la misma estructura. En los tipos de datos también se encuentra si las señales de interés son de entrada o salida y si pertenecen a PLC, SCADA o a ambos. Debido a que existe un gran número de tablas y a que son bastante extensas se ha decidido adjuntarlas en los anexos, sin embargo, para mostrar en que consiste el tipo se ha decidido aportar un ejemplo ilustrativo.

Tabla 5. Tipo creado para Compresor Rotativo de Palas (RVC).

RVC Tipo Compresor Rotativo de Palas: RVC				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipo	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
2	Estado con Corriente	E_CURRENT	BOOL			1	1		
3	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
4	Estado Compresor en Marcha	E_RUNNING	BOOL			1	1		
5	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
6	Orden de Paro Compresor	C_STOP	BOOL	1					1
7	Orden de Marcha Compresor	C_START	BOOL	1					1
8	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
9	Orden de Reset	C_RESET	BOOL	1					1
10	Orden de Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
11	Señal Entrada Marcha Compresor	XRUNNING	BOOL	1					
12	Señal Entrada Alarma	XALARM	BOOL	1					
13	Señal Salida Marcha Compresor	YSTART	BOOL			1			
14	Señal Salida Reset Compresor	YRESET	BOOL			1			
15	Temporizador Horas de Marcha	T_HRUNNING	TIMER						
16	Contador Horas de Marcha	C_HRUNNING	COUNTER						
17	Temporizador Pulso de Reset	T_RESET	TIMER						
18	Temporizador Alarma Confirmacion	T_START	TIMER						
19	Acumulador Horas Marcha RVC	HRUNNING	REAL			1	1		
20	Simulacion Scada Forced StartError	O_ForcedStartError	BOOL	1					1
21	Simulacion Scada MagnetoTermico	O_MagnetoTermico	BOOL	1					1

Esta tabla muestra el tipo RVC (Rotary Vane Compressor). El tipo está formado por 21 señales (algunas de ellas auxiliares y otras pertenecen a la simulación como O_ForcedStartError y O_MagnetoTermico). A la derecha se muestra la descripción de cada señal y que tipo de dato es (BOOL, REAL, etc).

En los tipos también se muestra las señales intercambiadas entre PLC y SCADA y si estas son entradas y/o salidas indicado con 1 en cada celda. Las señales creadas

dentro del tipo también están codificadas, si indican un estado adquirido empiezan por E y el nombre del estado, si son ordenes de SCADA a PLC empiezan por C o por O y el nombre de la orden, si son señales de entrada campo o salida hacia campo empiezan por X y Y correspondientemente. Las señales de simulación empiezan por O y son de salida de SCADA y entrada en PLC pues se simularán desde SCADA para que sea más fácil. Hay señales que empiezan por T como T_RESET que es un temporizador y que empiezan por C como C_HRUNNING que es un contador. Los *Timers* y Contadores no son señales ni de entrada ni de salida en su lugar se crearán señales auxiliares como HRUNNING (Acumulación Horas de Marcha RVC) si se quiere trasladar algún dato de PLC a SCADA.

Aunque en este tipo no aparece, cabe comentar que existen señales que empiezan por A indicando alarma y señales que también empiezan por C y significan consigna, pero son consideradas como ordenes también estas últimas debido a su naturaleza. En cuanto a los tipos de sistema se muestra la siguiente tabla aunque la codificación no es tan estricta:

Tabla 6. Tipo creado para sistema cosedora ST.

ST Tipo Cosedora				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipo	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado en Alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
2	Estado Accion Coser	E_STITCH	BOOL			1	1		
3	Tiempo Sim Cosido	T_STITCHING	TIMER						
4	Habilitar Grapado	C_ENABLESTITCH	BOOL	1					1
5	Tiempo Mantenimiento IDS	T_IDS	TIMER						
6	Tiempo Mantenimiento VCA_01	T_VCA_01	TIMER						
7	Bit Storage VCA_01	storage_bit_VCA_01	BOOL						
8	Bit Flanco VCA_01	output_bit_VCA_01	BOOL						

A continuación, se muestra un resumen del conjunto de los tipos que contienen señales intercambiadas entre PLC y SCADA y cuantas se intercambian.

Tabla 7. Señales intercambiadas PLC - SCADA.

RESUMEN INTERCAMBIO PLC - SCADA	
Descripción	Señales intercambiadas
SYSTEM OIL: LB_VCA - LB_VL_0X - TR_OPM - FD01_OPM	76
MTD: FD0X_MTD_01 - FD0X_MTD_02	70
IT - DS	40
RVC - DRIVE - MB - ABC	66
SYSTEM	23
DAC - DEL	10
ST - TR - FD0X	55
ST_VCA_01 - TR_V - FD0X_VCA	30
TOTAL	370

8.4. Simulación de la planta

Había varias opciones disponibles para crear la simulación de la planta pues en la mayoría de los casos el proyectista no dispone de la planta que se va a automatizar.

- Simulación en placa: Utilizar microcontroladores para leer las señales procedentes del PLC y representar el sistema diseñado, haciendo que éste actúe como se espera según las señales recibidas.
- Simulación con otro software: Esta opción consiste en simular el sistema utilizando un software externo a los utilizados para la automatización, como puede ser Arena o Simulink y Matlab.
- Simulación Embebida: Consiste en realizar la simulación mediante el propio RSLogix5000.

La primera opción fue rápidamente descartada pues el número de equipos, sistemas y señales que intervienen es enorme y hubiese imposibilitado hacer este trabajo.

La solución finalmente escogida fue hacer la simulación embebida ya que no se necesita de software externo y por lo tanto se facilitan las comunicaciones.

Comentar que solo se verán ejemplos de codificación y de tablas pues la cantidad de código y variables es elevada y alargaría la memoria en exceso. Se ha adjuntado todo lo referente a tablas en los anexos y el código se adjunta de forma electrónica en la carpeta que acompaña al anexo.

8.4.1. Bloques del sistema

La simulación está formada en la mayoría de los casos por bloques de señales con lógica interna. Estos bloques son los llamados *Add-On Instructions*, RSLogix 5000 dispone de muchos *Add-On* con su lógica ya creada, lo único que hay que hacer es invocar el elemento y las señales que se quieren gobernar de este. En otros casos como la simulación de la máquina que se está llevando a cabo ha sido necesario crear ciertos *Add-On* que facilitarán la simulación debido a su estructura como se verá a continuación. Por último, a veces no es necesario crear estos bloques ya que simplemente con unas pocas líneas de código se puede conseguir el propósito buscado.

Para ilustrar el tipo de simulación seguida se ha decidido explicar como se ha creado la simulación de un equipo cualquiera. Se ha elegido la bomba de engrase para explicar la simulación realizada.

Primero de todo en el caso de usar *Add-On*, tenemos que crearla. Para ello en la ventana *Controller Organizer* vamos a la carpeta que pone *Add-On Instructions*, *click* derecho y crear nueva. Asignamos el nombre y el tipo (Function Block, SFC, Ladder, etc) deseado, para este equipo se ha escogido *Ladder*.

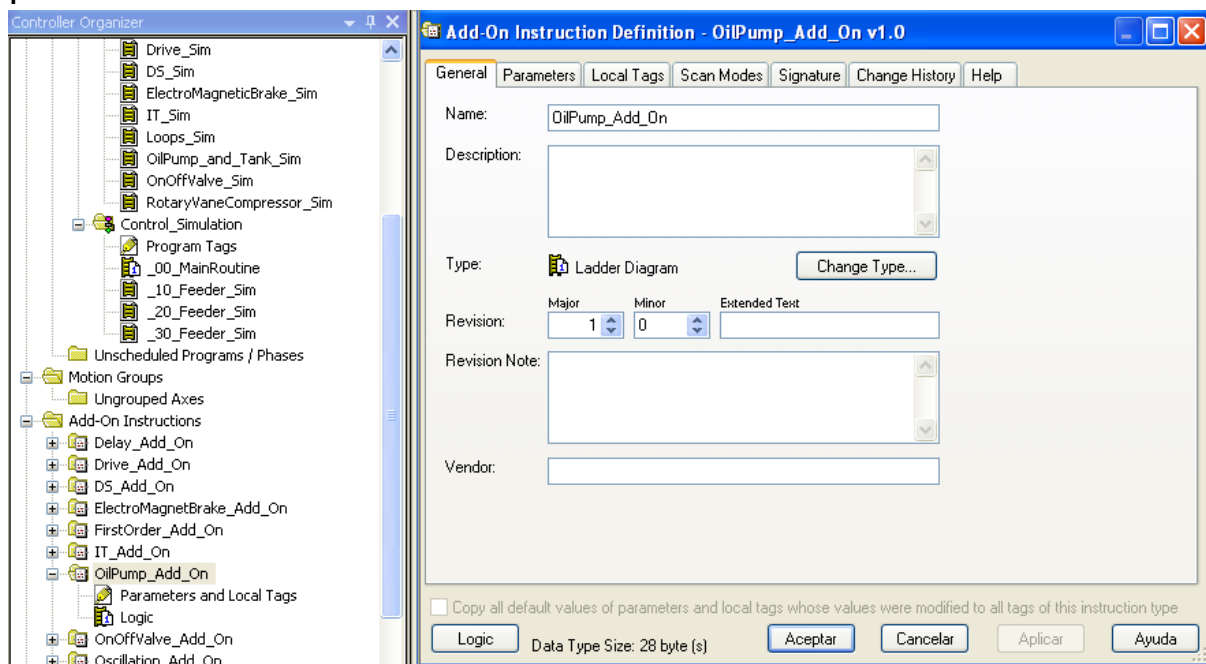


Figura 55. Creación del bloque Add-On.

Una vez se ha creado, se decide que señales van a actuar dependiendo del equipo que se esté simulando. En el caso que nos incumbe se han creado las señales que se ven en la siguiente imagen en la ventana *Parameters and Local Tags*.

Name	Usage	Default	Force Mask	Style	Data Type	Description
DI01	InOut	??		Decimal	BOOL	XRUNNING
DI02	InOut	??		Decimal	BOOL	XALARM
DI03	InOut	??		Decimal	BOOL	XLEVELCONTROL
DO01	Input	0		Decimal	BOOL	YSTART
DO02	Input	0		Decimal	BOOL	YRESET
EnableIn	Input	1		Decimal	BOOL	Enable Input - Sys...
EnableOut	Output	0		Decimal	BOOL	Enable Output - S...
ForcedAlarm	Input	0		Decimal	BOOL	Simulacion Alarma
ForcedStartError	Input	0		Decimal	BOOL	Simulacion Start E...
L_Value	Local	0.0		Float	REAL	Nivel Bajo
T_START	Local	{...}	{...}		TIMER	
TankLevel	Input	0.0		Float	REAL	Nivel Tanque
TimeStart	Input	0.0		Float	REAL	

Figura 56. Creación de los parámetros e/s y tags locales.

La bomba de engrase tiene tres señales de entrada y dos de salida simuladas como se puede ver a partir de su codificación, estas aun siendo entradas y salidas simuladas se deben poner como parámetros de entrada/salida y entrada correspondientemente para la creación interna del bloque. Esto es debido a que externamente al bloque se asignaran nuestros *tags* creados a los *tags* internos del *Add-On*, como si de una función paramétrica se tratase. Luego se verá un ejemplo que aclarará estos conceptos.

En el bloque también hay creados otros parámetros como las alarmas que se quieren forzar/simular que se declararan como *Inputs* con el objetivo que desde SCADA se pueda enviar ordenes al PLC y que, al ser aceptadas como entradas en el bloque, provoquen o no la activación de una salida con alarma.

Hay otros parámetros declarados como *Local* estos solo pueden ser usados internamente en el bloque para las funciones que se deseen. En el caso de la bomba de engrase se declara *L_Value* que servirá como constante de nivel del tanque y que cuando se baje de ese nivel a partir de una comparación con *TankLevel* (declarado como entrada) pues provocará una salida interna en el bloque de alarma que se traduce externamente como una entrada de alarma en nuestra máquina.

Veamos como se ha desarrollado el código de la *Add-On* bomba de engrase:

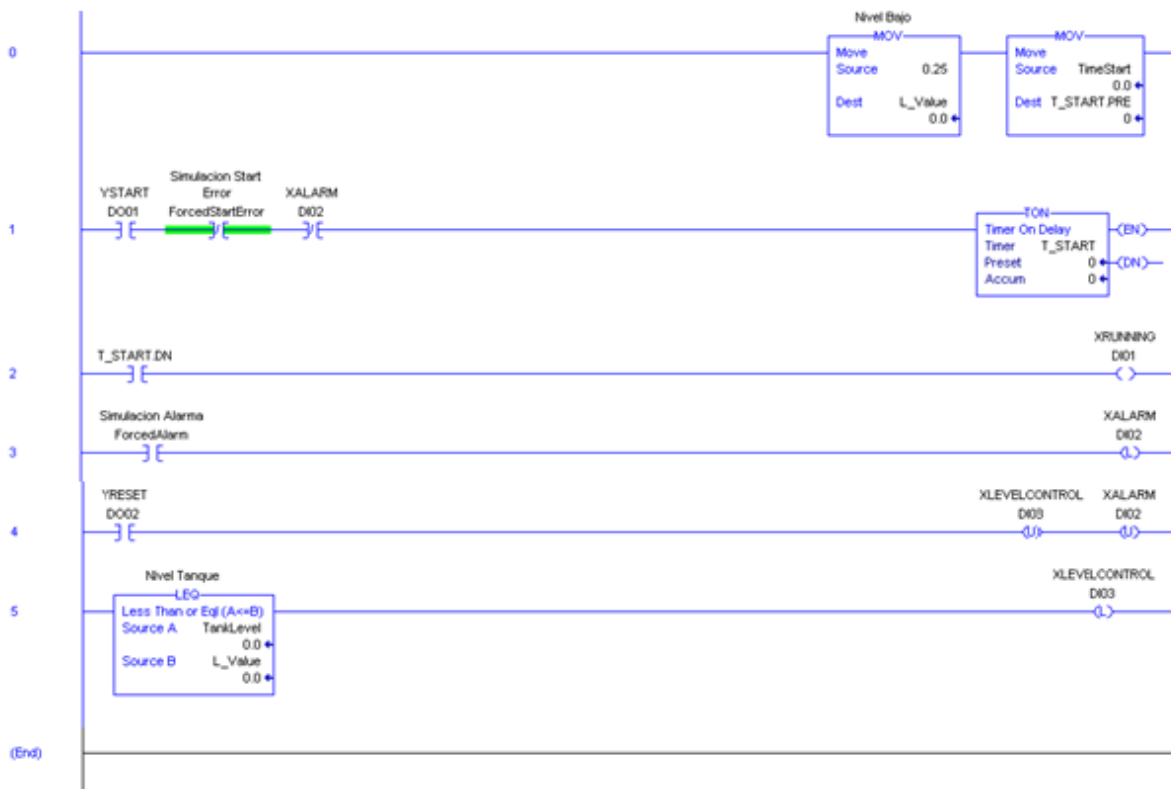


Figura 57. Código simulación Oil_Pump_Add_On

Como se puede ver, cuando se envía una orden de marcha (DO01) y no existe ningún tipo de alarma se inicia un TIMER que dará paso a la marcha cuando se cumpla el tiempo previsto designado en la línea 0 con la instrucción MOV. Cuando se envía una orden de *reset* se quitarán las alarmas siempre que éstas no sigan estando activas. Por otro lado, el nivel del tanque se compara con el límite inferior del depósito y si se cumple la condición se activa alarma de nivel bajo. También tenemos las alarmas forzadas como *ForcedAlarm* y *ForcedStartError* que serán

órdenes creadas en los tipos de cada bomba y se enviarán desde SCADA hacia el PLC tal como se ha indicado anteriormente.

Una vez se ha finalizado la lógica interna del *Add-On* falta llamarlo o invocarlo asignando a cada entrada y salida del bloque, las salidas y entradas de nuestro programa de PLC. Otros parámetros como el tiempo para confirmación de marcha también se asignan como entradas, esto es debido a que seguramente se va a invocar más de una vez el bloque y puede que se asignen tiempos distintos, de otro modo si asignásemos un tiempo interno en el bloque sería el mismo para todas las llamadas a dicho bloque.

Para invocar el bloque se debe de crear un equipo o sistema en la rutina de simulación correspondiente que tenga de *Data Type* el propio *Add-On* creado.

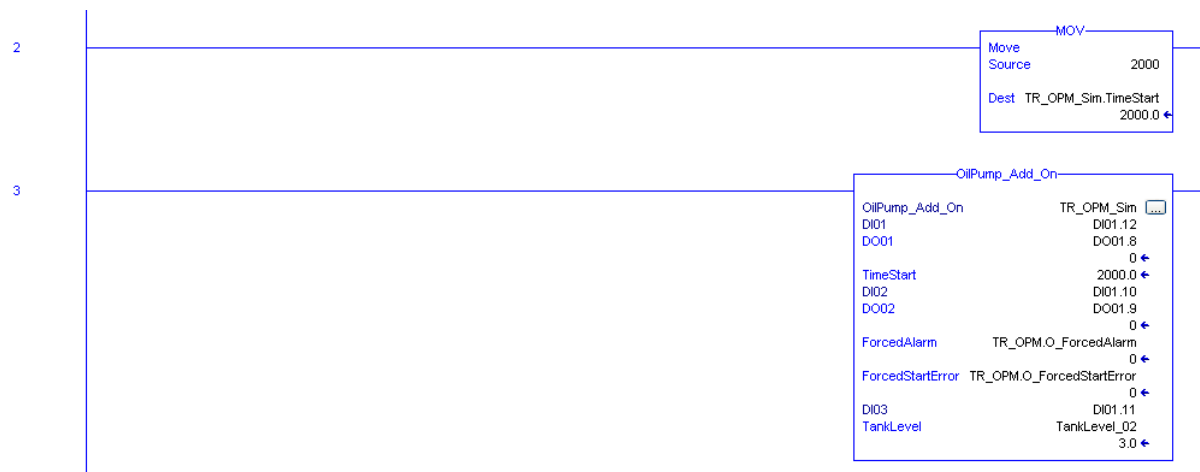


Figura 58. Llamada al bloque y paso de parámetros.

Una vez asignadas las señales simuladas del *Add-On* a las señales de los Módulos de Entradas y Salidas que representa las entradas y salidas reales solo falta ligar estos últimos con las entradas y salidas de la rutina del equipo escogido.

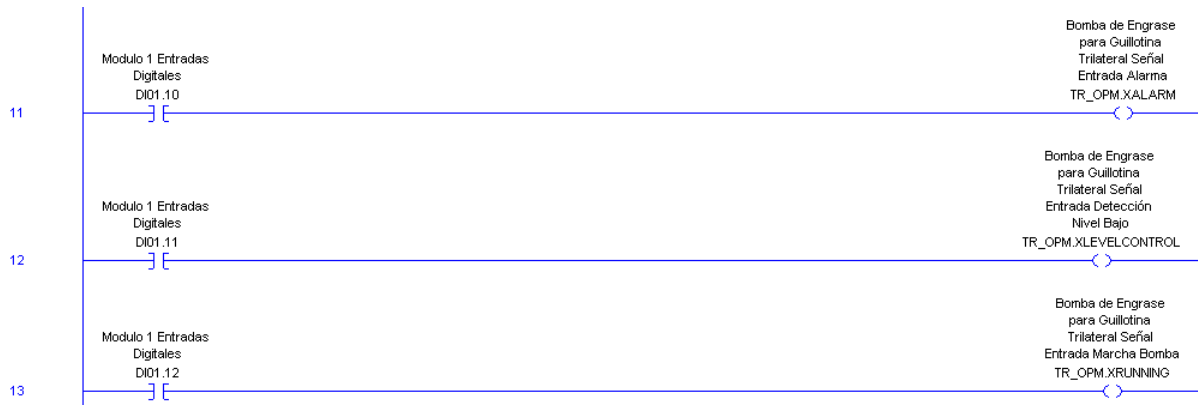


Figura 59. Asignación entradas PLC reales a entradas módulos simulados.

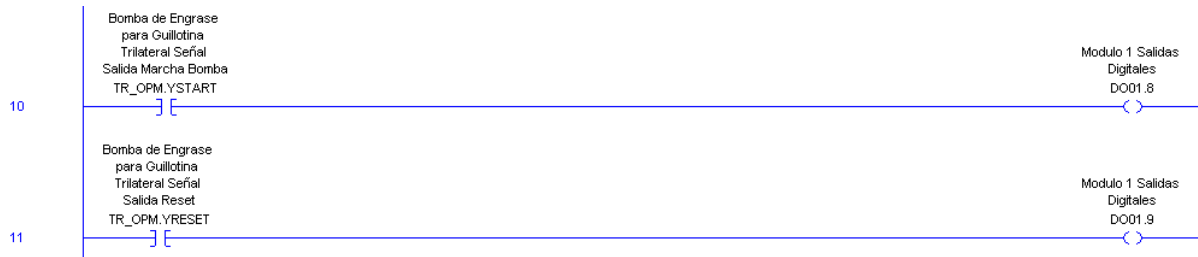


Figura 60. Asignación salidas PLC reales a salidas módulos simulados.

Ya que el bloque se comporta como lo haría una función se puede llamar tantas veces como se quiere siempre que se creen equipos o sistemas con el mismo tipo que dicho bloque la cual cosa facilita enormemente la faena reduciendo tiempo y código que de otra forma sería innecesario. Por otro lado, tal como se ha nombrado al principio del subapartado hay ciertos *Add-On* especiales que ya vienen creados como los siguientes:

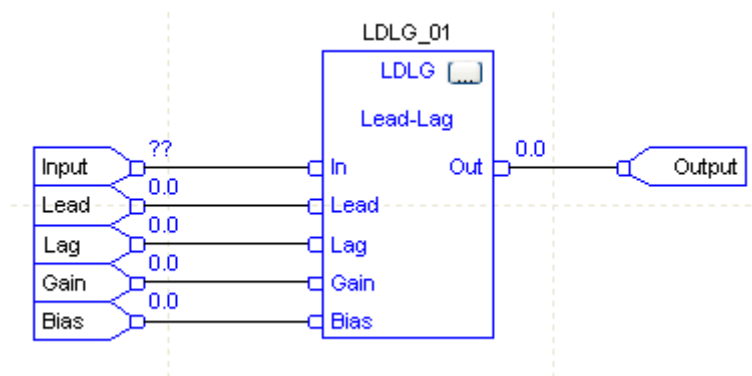


Figura 61. Simulación motor primer orden Lead-Lag

Este bloque ha sido utilizado para recrear la respuesta que tiene el Motor Principal de la máquina frente a una consigna enviada por potenciómetro. Este simulará la planta del motor siendo esta una respuesta de primer orden con alta ganancia y bastante rápida (poco *lag* o retardo). También se ha usado para los servomotores DC de ajuste de pliego, seis en total. Por lo tanto, se han utilizado siete bloques *FirstOrder Lead-Lag*, seis de ellos para servomotores con además un bloque para cada uno del tipo integrador ya que se trata de controlar una posición. En total han sido necesarios siete lazos.

Comentar que no siempre es necesario crear estos bloques, pero normalmente ahorran tiempo y código siempre que se tenga que utilizar más de un equipo o sistema pues funcionan del mismo modo que lo haría una función con envío y retorno de parámetros. Por último, nombrar que se ha creado un bloque para cada equipo, estos se pueden ver en formato electrónico dentro del programa del PLC.

8.4.2. Estructura y diseño de la simulación

Tal y como se planteó desde el primero día, la simulación ha sido embebida dentro del propio PLC, con esto se consigue rapidez en las comunicaciones ya que usar otros softwares como Matlab y Simulink complican la cosa, y se permite también hacer una programación más extensa que si fuese en placa. Como se realiza con el mismo programa es fácil de ir comprobando todo, aunque el código luego se hace bastante extenso.

En un primer momento se intentó realizar una simulación en dos programas, uno para equipos y otro para sistemas. Se comprobó más tarde que esto no funciona de manera adecuada pues debido a los tiempos el PLC aparecían errores al dar los ciclos. Finalmente se optó por unir toda la simulación en un solo programa dividido en rutinas, aunque el programa se alarga, se puede visualizar rápidamente toda la simulación y no da errores en los tiempos. Aunque se han realizado rutinas para separar partes del código todo está muy interrelacionado entre si y es normal ver que cualquier equipo o sistema puede aparecer en un equipo i/o sistema.

En la foto también se aprecian los Add-On, bloques explicados en apartados anteriores que sirven para simular los equipos y sistemas evitando repetir código y facilitando estructuras de cálculo (First Order Lead-Lag).

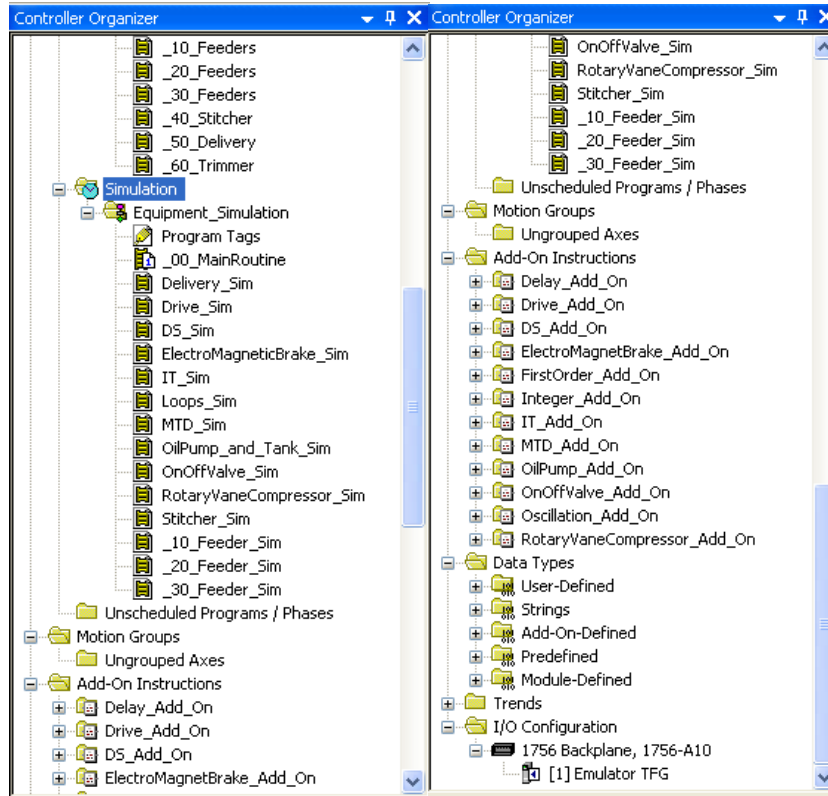


Figura 62. Organización simulación en RSLogix 5000.

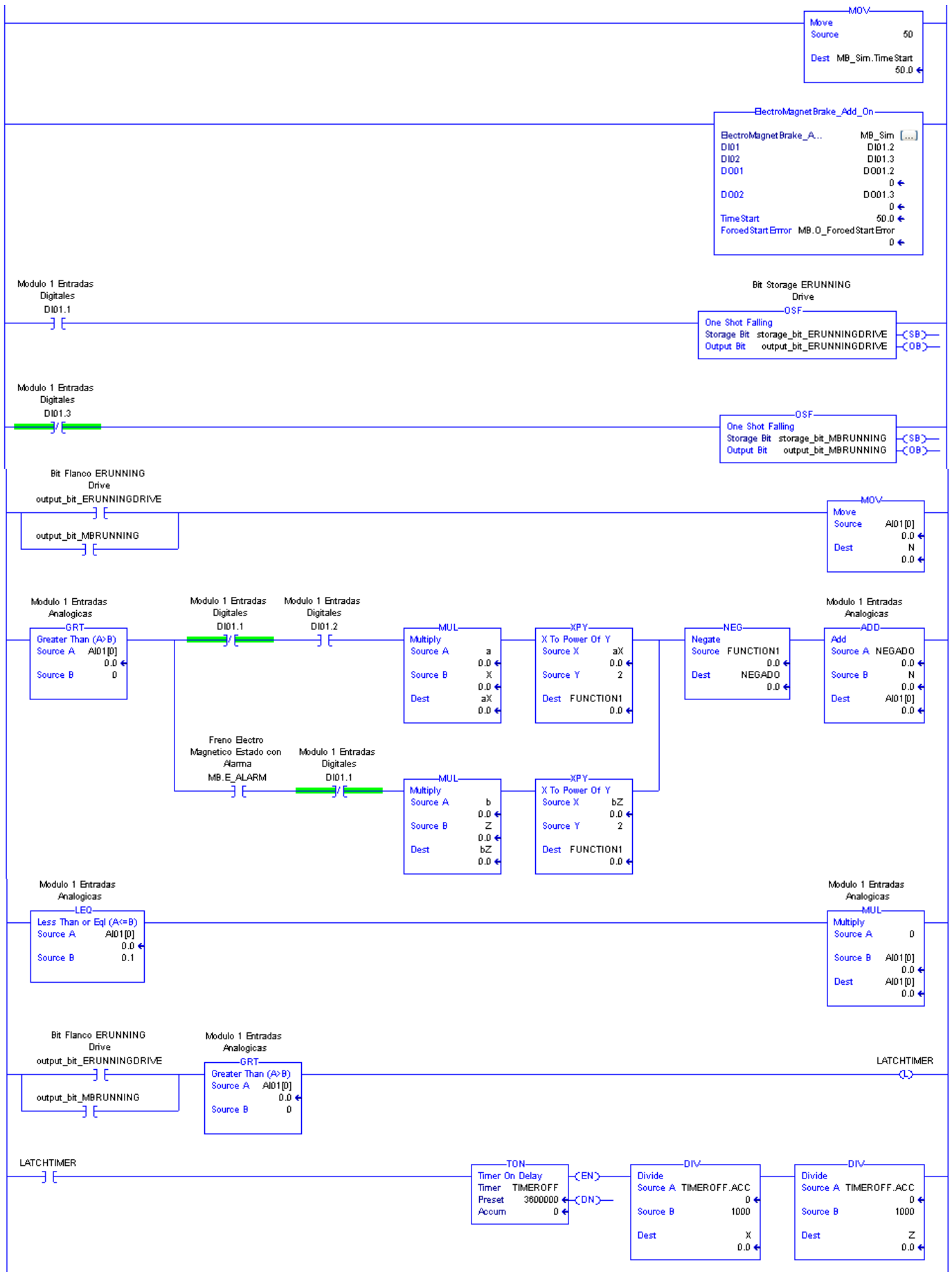
Han sido necesarios 5 módulos de entradas digitales, 1 módulo de entradas analógicas, 3 módulos de salidas digitales y un módulo de salidas analógicas de 32 variables cada uno. La nomenclatura escogida para creación de los módulos de entradas y salidas ha sido: AIXx (Entradas Analógicas), DIXx (Entradas Digitales), AOxx (Salidas Analógicas) y DOxx (Salida Digitales) donde "xx" es el número del módulo.

El lenguaje escogido para la simulación ha sido el *Ladder*, por ser el que más se domina de los disponibles en el PLC.

Dentro de la tarea de simulación que se puede ver en la imagen anterior, la primera rutina ("_00_Main_Routine") es la encargada de llamar a las diferentes rutinas cada 100 ms, y en el interior de cada una de las rutinas, se encuentra la invocación de todos los Add-Ons de los diferentes equipos y/o sistemas

Además de los módulos de entradas y salidas también existen otros tags creados para guardar parámetros o bien transmitirlos. Es el caso de "Staple" que guarda el número real de grapas o bien "aux_sum" y "aux_mult" utilizados para escalar la velocidad del motor principal.

Se ha creado la simulación de equipos y sistemas juntas en un solo programa ya que están íntimamente ligados. Además, debido a los tiempos del sistema había problemas para sincronizar todo en dos programas. A continuación se muestra un ejemplo sencillo del código utilizado para la simulación del freno electromagnético.



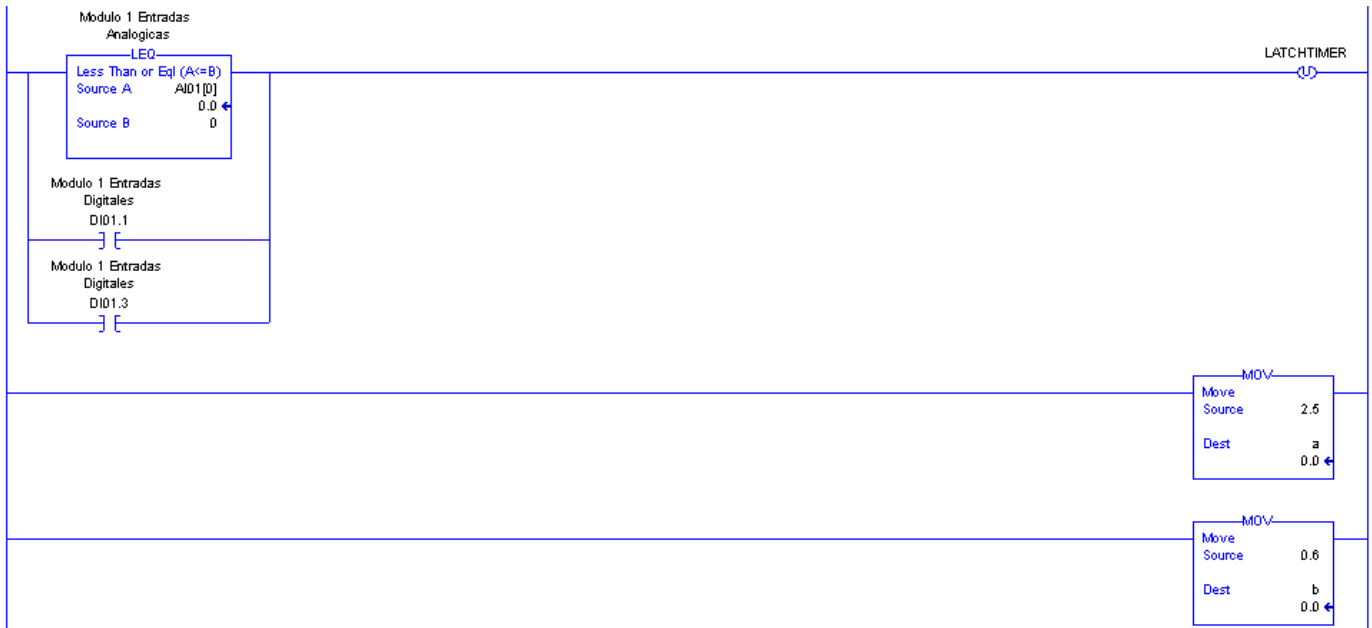


Figura 63. Código simulación freno-drive.

Como se puede ver se ha creado el Add-On MB pues es un equipo especial, se le ha asignado un *TimeStart* bastante rápido porque debe actuar en milésimas de segundo si queremos una frenada rápida ante apertura de tapas o paro de emergencia. Lo que sigue del código sirve para escribir una ecuación que dibuje la trayectoria de caída que sigue el motor cuando ya no recibe corriente, este debe seguir una trayectoria parabólica hacia abajo bastante acentuada ($a = 2.5$).

La ecuación debe coger la última coordenada de velocidad en el instante que pare el motor y entonces si el freno va pues utilizar una ecuación parabólica de bastante pendiente (frenada brusca), el eje temporal cambiará a uno de nuevo (simulado) mediante el *Timer* que se observa en el código pues queremos un origen nuevo de coordenadas para facilitar la faena.

Si el freno no va el motor no inicia velocidad, pero si en el freno salta alarma mientras corre el motor entonces este se encontrará en caída libre por lo cual se tendrá que simular una parábola con muy poca pendiente ($b=0,6$) y así se simula la caída en inercia del propio motor (tarda bastante). Mientras el freno esta averiado y se cae en inercia no se puede resetear el sistema pues es imposible que se haya arreglado todavía, así que se considera que cuando la velocidad sea 0, ya se podrá arreglar el freno si hay intervención por operario (*reset* equipo). El freno también puede fallar claro está mientras está frenando, en ese caso seguirá la trayectoria de poca pendiente una vez falle, esto es más extraño de que ocurra pues tarda 2 segundos en frenar y aunque fallase frenaría bastante rápido, es más normal que falle justo al cambiar de marcha motor a paro motor o justo mientras está corriendo el motor.

Se han realizado simulaciones más complicadas que tienen en cuenta esta simulación, como por ejemplo cuando se rechaza un pliego, depende totalmente de la velocidad del motor, a más velocidad antes es rechazado y viceversa y si está en caída libre también se siguen dando ciclos de rechazo pues no influye que el motor esté en alarma para que pueda rechazar o no. El rechazo pues utiliza parte de esta simulación

8.4.3. Comentarios de la simulación

La simulación creada se ha intentado ajustar lo máximo posible a la realidad, en cuanto a los equipos se ha tenido muy en cuenta los esquemas eléctricos con los que se ha trabajado. En cuanto a los sistemas la simulación se ha complicado bastante pues una máquina no es como un proceso a la hora de la simulación, es más complicado y más en una máquina de este tipo donde todos los sistemas dependen de los tiempos de ciclo cosa que dificulta muchísimo esta labor y la creación de un buen sinóptico que clarifique que se está haciendo.

Es por eso que en cuanto a sistemas la simulación no ha sido tan buena como la de los equipos. El tiempo ha jugado un factor clave en este tema. Se han realizado algunas simplificaciones para lograr un buen resultado.

Respecto a ciertos parámetros como los tiempos de los temporizadores han sido acelerados para poder contabilizar horas de funcionamiento de los equipos sin tener que esperar cada hora real. La velocidad de la máquina ha sido reducida drásticamente para poder observar que pasa y hacer que el sensor pueda detectar correctamente y que todo se visualice bien. Todo elemento que detecte o funcione rápido, como mínimo se debe ver su estado durante un segundo pues sino no funciona correctamente y el observador no puede ver con claridad el SCADA, esto es debido a que se trata de una simulación, en una programación real no se llegaría a tener estos problemas al menos. Todo esto explicado ha complicado bastante la simulación de manera que se ha alargado bastante.

Para que cada sensor, equipo detecte automáticamente se han ideado bloques FIFO y operaciones FAL y FSC que permiten dar un comportamiento secuencial al sistema y dependiente en ciertos casos, es decir, si por ejemplo hay un sensor antes del grapado que detecta que el ejemplar está mal pues no se debe grapar, el sensor de grapa entonces no debe detectar grapa y el sistema posterior de rechazo debe eliminarlo. Todo esto ha sido bastante complicado de realizar.

La mayoría de la simulación de los equipos está íntimamente relacionada con el SCADA pues es desde ahí donde se darán las órdenes para crear alarmas forzadas y demás. Otros equipos se han simulado completamente en el interior del PLC como puede ser el vaciado del tanque de aceite, aunque las órdenes de relleno se envían desde el SCADA. La simulación de los sistemas se ha intentado hacer toda desde PLC y que sea automática, es decir, sensores y mecanismos funcionan solos en cada ciclo, y en caso de enviar una orden de no detección (efecto) desde SCADA habrá un rechazo del pliego en el ciclo que corresponda (causa). Aunque este proceso de efecto-origen es difícilísimo de simular y representar en SCADA ha quedado representado de la mejor manera posible para que sea entendible.

8.5. Programa del controlador

En este apartado se incluye la explicación del programa realizado en el controlador para la automatización.

8.5.1. Estructura del programa

Este sub-apartado tiene la función de explicar cómo se estructura el programa realizado para la automatización. Se partirá del árbol de navegación del programa:

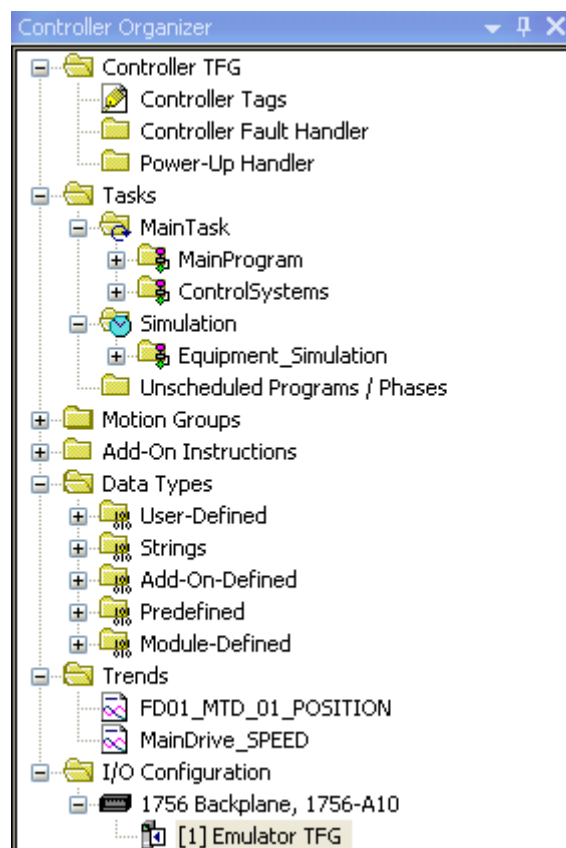


Figura 64. Organización global del controlador.

En la primera carpeta en la parte superior, dentro de *Controller TFG*, se encuentran los *tags* utilizados en el PLC (*Controller Tags*). Es imprescindible que todos los *tags* que quieran ser comunicados con el SCADA se declare aquí, de otro modo no podrán ser usados ya que serán de tipo local allí donde se hayan definido, además los *tags* declarados en *Controller Tags* tienen carácter global y pueden ser usados por todo el programa.

En la carpeta *Tasks* se pueden crear tareas que se repiten cada ciertos milisegundos (10 ms, 100 ms, etc) y usadas comúnmente para realizar las simulaciones oportunas o bien crear los algoritmos PID en ciertos casos para que capte bien los datos.

Se ha creado pues la carpeta *Simulation* como tarea cíclica cada 100 ms y dentro el programa *Equipment_Simulation* que como se ha explicado anteriormente

también engloba sistemas pues estos están íntimamente ligados con los equipos, en casos un sistema pueda estar solo formado por equipos y no tener variables propias, así se ha decidido diseñarlo y ha resultado bastante práctico.

Por otro lado, tenemos la carpeta *MainTask* donde crearemos los programas principales, uno llamado *MainProgram* que reúne todos los equipos y su lógica y otro llamado *ControlSystems* donde se reúnen los equipos, se crean sistemas y se hace una programación colectiva de todo. Cabe decir que el lenguaje que más ha predominado en toda la programación ha sido el *Ladder*, sin embargo ha habido ciertas Add-On que ha sido necesario realizarlas con *FBD* pues con *Ladder* resulta totalmente inviable.

A continuación, se muestra una vista más concreta de la organización seguida:

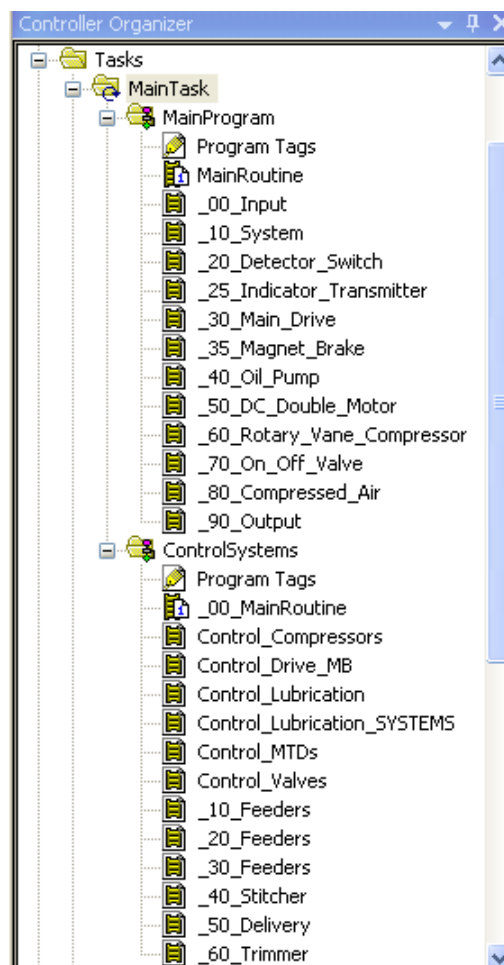


Figura 65. Organización concreta del controlador.

Todas las rutinas que se observan en cada programa (*MainProgram* y *ControlSystems*) son llamadas a través de su respectiva *MainRoutine* mediante bloques JSR (*Jump to Subroutine*). Además, cabe mencionar las rutinas *_00_Input* y *_90_Output* donde se localizan todas las señales de entrada y salida.

Por último, tenemos la carpeta de la simulación descrita en apartados anteriores y con la misma estructura seguida que en los otros programas y los ADD-On, que se han comentado anteriormente también, seguidamente, la carpeta nombrada

Data types donde se han creado los equipos como tipo de dato, lo que reduce enormemente el tiempo de programación (ver en el siguiente apartado).

8.5.2. Definición del tipo de datos

Tal como se ha explicado, en la carpeta *Data types* del árbol del controlador, se definen los tipos de los equipos y sistemas como si de una matriz de datos se tratase. Se basa pues en registro de información donde se puede rellenar cada campo con el tipo de variable que se desee (BOOL, REAL, INT, etc). En la siguiente imagen se puede ver la pantalla para crear los tipos de datos:

Name:

Description:

Members: Data Type Size: 48 byte(s)

	Name	Data Type	Style	Description	External Access
	E_ALARM	BOOL	Decimal	Estado en Alarma	Read/Write
	E_STITCH	BOOL	Decimal	Estado Accion Coser	Read/Write
+	T_STITCHING	TIMER		Tiempo Sim Cosido	Read/Write
	C_ENABLESTITCH	BOOL	Decimal	Habilitar Grapado	Read/Write
+	T_IDS	TIMER		Tiempo Mantenimiento	Read/Write
+	T_VCA_01	TIMER		Tiempo Mantenimiento	Read/Write
	storage_bit_VCA_01	BOOL	Decimal	Bit Storage VCA_01	Read/Write
	output_bit_VCA_01	BOOL	Decimal	Bit Flanco VCA_01	Read/Write

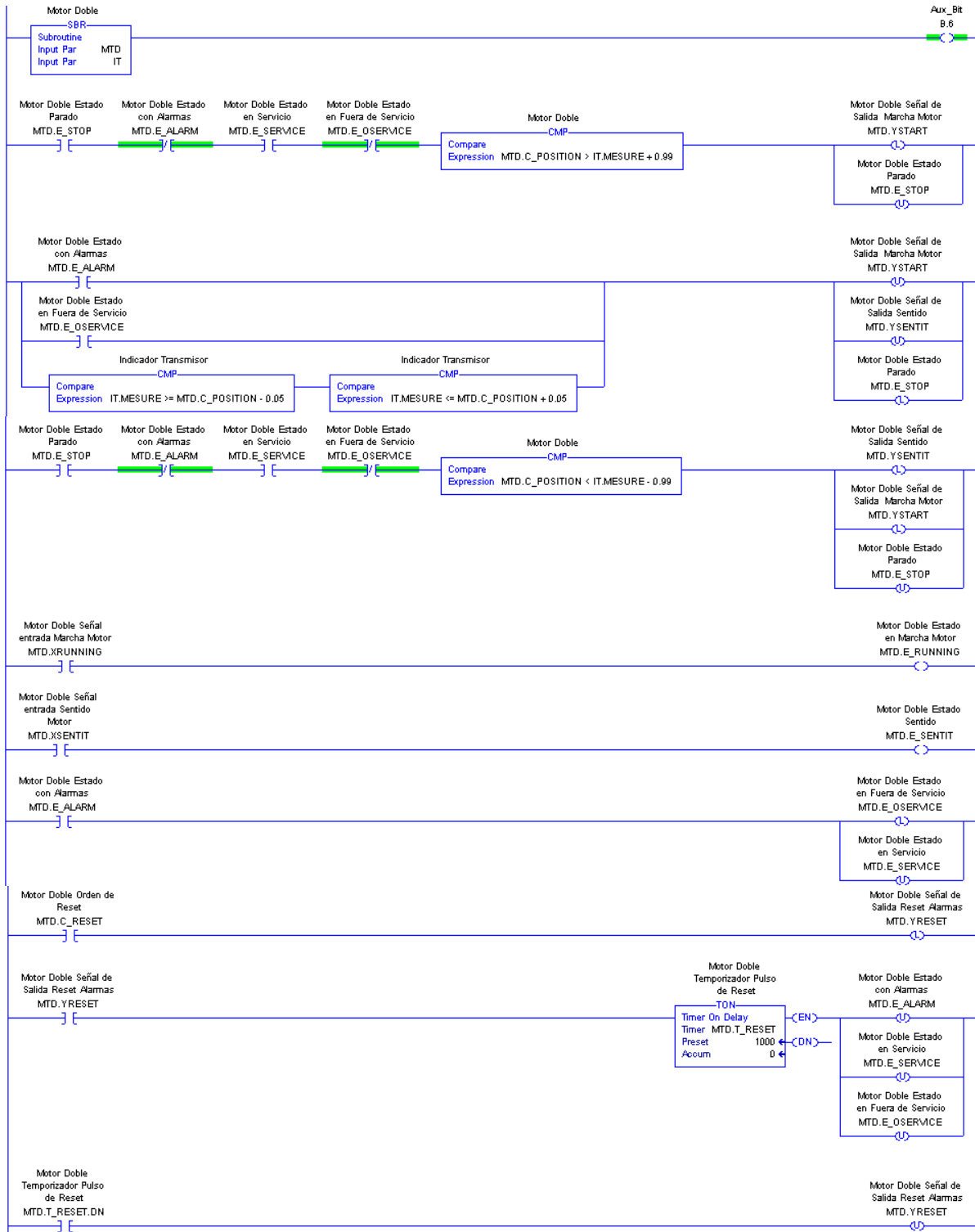
Figura 66. Definición tipo datos Cosedora – Stitcher.

En la imagen anterior, se puede ver el tipo de dato STITCHER. En la tabla de la parte inferior se introducen todas las señales en cada campo. Esto supone una ventaja enorme a la hora de programar pues una vez el elemento está creado, se pueden crear tantos elementos de ese tipo como se quiera con exactamente las mismas señales. Para rellenar la tabla del *Data Type* hay que declarar las variables que intervienen, primero de todo se les asigna un nombre siguiendo con la codificación mencionada para los tipos de equipos y sistemas que se ha mencionado en apartados anteriores. Luego se asigna el tipo de dato (BOOL, TIMER, INT, REAL, etc.) y la descripción para dar un mejor entendimiento de con que señales se está trabajando. Por último, se puede indicar el estilo de representación (Decimal, Octal, Binary, etc) y si se quiere dar acceso externo y de que tipo (Read/Write, Read Only, None).

8.5.3. Lógica de control de los elementos

Como ya se ha comentado, la lógica de control de los distintos elementos se encuentra en la primera carpeta dentro de la tarea principal. La programación de los elementos se ha realizado también utilizando el lenguaje *Ladder*. Se realizan los programas para los tipos de datos creados (un programa para cada tipo de datos).

A continuación, se muestra en imágenes un ejemplo para el tipo de dato MTD. Para apreciar bien la lógica de la rutina mirar en los anexos.



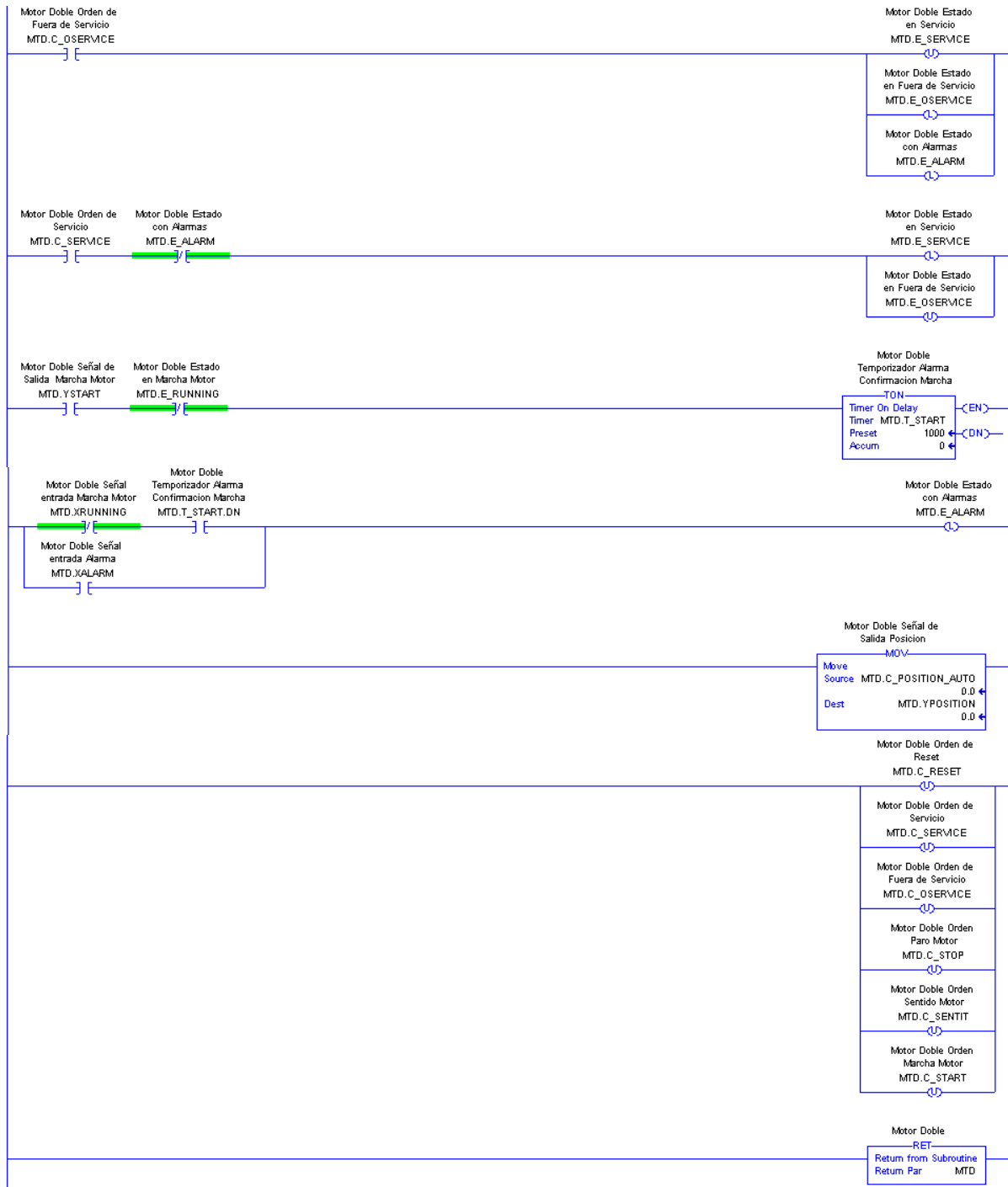


Figura 67. Lógica de control MTD.

Como se puede ver, la función principal de la lógica de control de los equipos es recibir las entradas, gestionar los estados en función de las entradas, recibir órdenes y dar señales de salida.

Todos los equipos diseñados parten de la misma estructura de funcionamiento donde aparecen estados adquiridos, ordenes, señales de entrada y salida relacionadas, etc. Desde SCADA se puede visualizar los estados del equipo y dar órdenes y consignar pertinentes, aunque en el propio PLC también se puede realizar, resulta muy tedioso y poco práctico.

Si se quiere dar por ejemplo orden de servicio y el equipo está en alarma esté no hará nada, si se fuera de servicio en muchos casos saltará alarma si el equipo es crítico, en otros casos solo indicará si el equipo no se quiere usar. El *reset* reinicia los estados del equipo (Alarmas, servicio y fuera de servicio) en caso de que no exista la alarma, si existe se dará la orden, pero no servirá de nada. Luego hay ciertos estados como por ejemplo E_STOP que indica que el motor no puede ir en ningún sentido sin haber pasado anteriormente por una parada.

Hay temporizadores y contadores para ver cuantas horas lleva en funcionamiento el equipo o bien para dar pulsos largos a ciertas señales o bien para hacer saltar alarma si no se alcanza la velocidad por ejemplo en ciertos segundos o bien si no se consigue la marcha en el tiempo esperado.

En el caso de sensores y detectores, la lógica de control simplemente leerá las señales de campo del equipo y las enlazará con la señal pertinente del sistema PLC-SCADA.

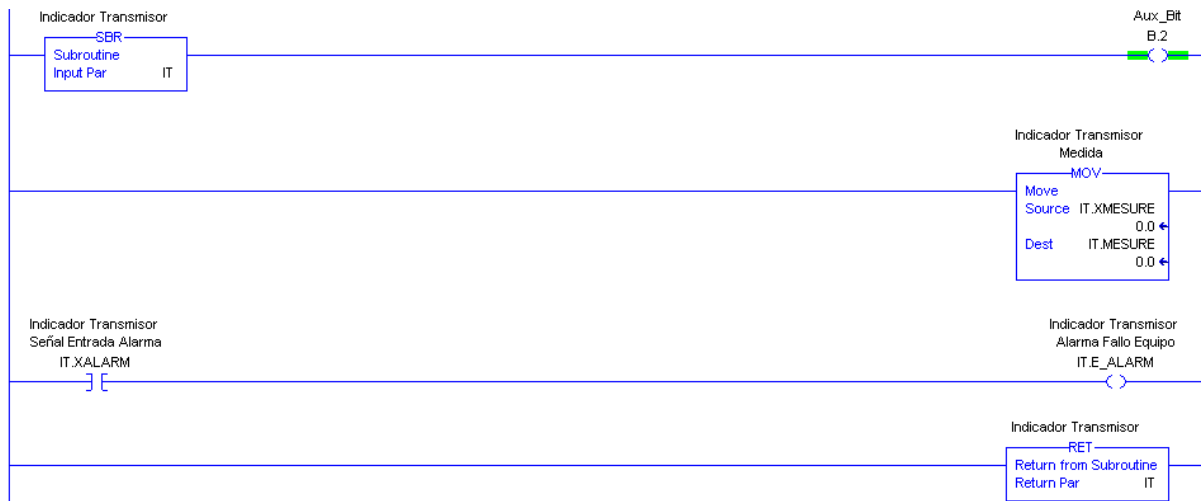


Figura 68. Lógica de control IT.

Al principio y al final de la rutina de control de los equipos, hay que utilizar la instrucción de llamada y de retorno del tipo de dato. En ella se indica el tipo de dato para el que está hecha una rutina particular. La llamada de la lógica de control de los diferentes equipos se realiza desde la rutina principal de la tarea principal.

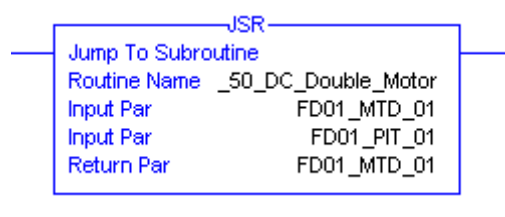


Figura 69. Ejemplo de salto a subrutina.

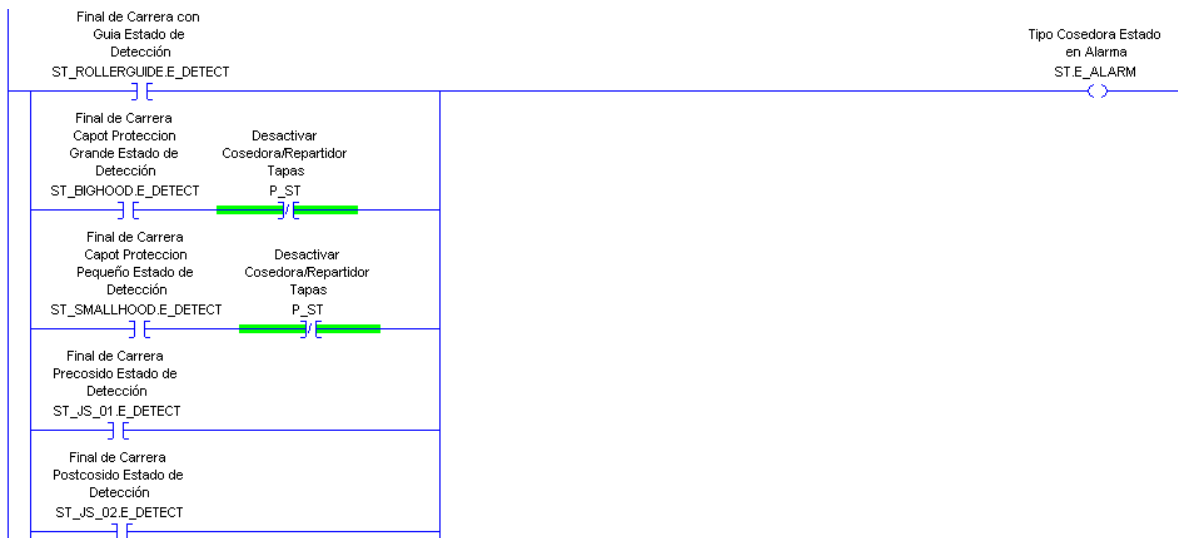
Esta estructura además permite pasar parámetros y evitar así repetir lógicas de control. Si miramos el bloque anterior, se puede ver como se pasan dos parámetros y vuelve uno, esto se ha realizado cinco veces más pues se tiene seis motores que actúan prácticamente igual, al menos su lógica interna. Con el envío de parámetros se consigue reducir muchísimo el código, lo único que el controlador a veces puede informar de que se excede el número de parámetros y a veces no deja pasar todos, puede dar problemas, en ese caso lo mejor es eliminar la llamada a subrutina y volverla a crear. Si el error persiste otra manera sería pasar parámetros indexados, en este trabajo ha bastado con el bloque JSR.

8.5.4. Lógica de control de los sistemas

Después de gestionar la lógica de control de los equipos de forma individual, hay que realizar la lógica de control de los sistemas. El lenguaje utilizado es el mismo (*Ladder*) que en los equipos.

La lógica de control de los sistemas se encuentra en la tarea *ControlSystemS*. La *MainRoutine* es la encargada de ejecutar las diferentes rutinas. Dentro de cada rutina, se ejecuta la lógica de los sistemas.

Los sistemas tienen en cuenta los estados adquiridos por los equipos y por parámetros que se pasan desde el SCADA. Realizan la ligazón entre los distintos equipos creando un sistema global. Por ejemplo, en la lógica de sistema del Marcador 01 intervienen tres sensores, una válvula, el tipo SYSTEM y otros.



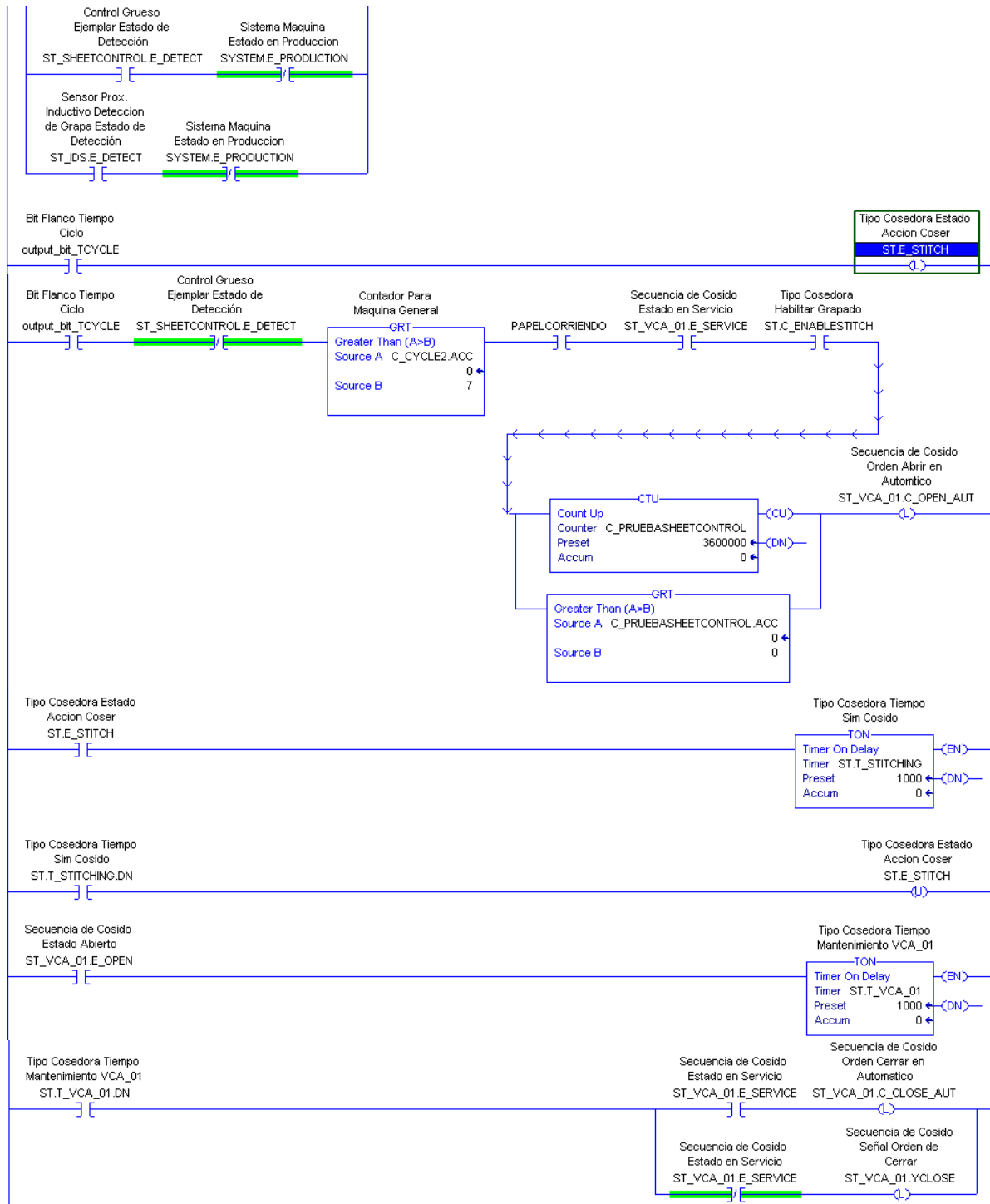


Figura 70. Lógica de control sistema ST.

En el código anterior se muestra toda la lógica y estructura seguida para el sistema de cosido. Cabe decir que es sencilla pero la simulación es bastante larga.

8.5.5. Regulaciones PID

A lo largo del programa se ha necesitado una regulación PID para el control de velocidad variable por potenciómetro. El potenciómetro es el que realmente ajusta consigna del variador de frecuencia y este mediante PID interno permite una salida acorde al motor principal. También se ha necesitado seis lazos con servomotor para el ajuste de la pila de pliegos, tres lazos son para ajuste frontal y otros tres para ajuste lateral. De los seis lazos anteriores solo se explicará uno pues son todos completamente iguales, aunque no disponga de regulación PID.

A continuación, se muestra la lógica de control para el PID:

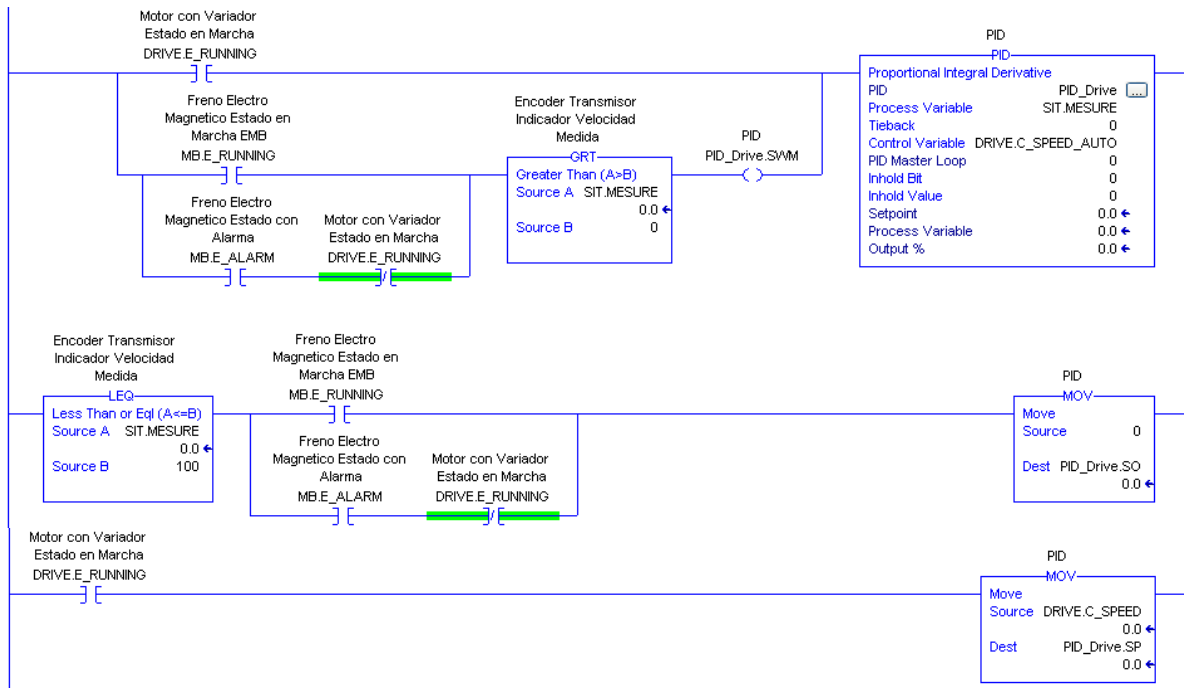


Figura 71. Lógica de regulación PID. Control Velocidad.

Cabe comentar que ha sido bastante difícil lograr lo que se quería pues se necesitaba que siempre que el motor estuviese en marcha el PID se ejecutase, pero si el motor entraba en caída por freno o bien libre se necesitaba que el PID se ejecutase pero sin transmitir valor, la única manera de conseguirlo es "reiniciarlo o apagarlo", esto se hace mediante el control de automático a manual.

En modo automático (con MO = 0 y SWM = 0) el algoritmo se ejecuta y actúa sobre CV (variable de control)

En modo manual (hay dos tipos de manual, se ha usado el SWM o *software mode* ya que es el más común y desde programa) el algoritmo no se ejecuta y se utiliza la salida SO como CV así que se tendrá que actuar sobre esta.

Se ha usado PV (variable del proceso) *tracking* para que luego cuando se vuelve a iniciar el motor no lo haga de forma lenta, se requiere un inicio normal como si de una puesta en marcha se tratase. Con PV *tracking* se consigue pues que la

consigna sea la misma que el PV y se consigue un *bumpless control*. Este modo de control hace que los cambios de manual a automático y viceversa no afecte al control.

La imagen que sigue muestra la planta del motor principal, simulada con un primer orden y un cierto retardo:

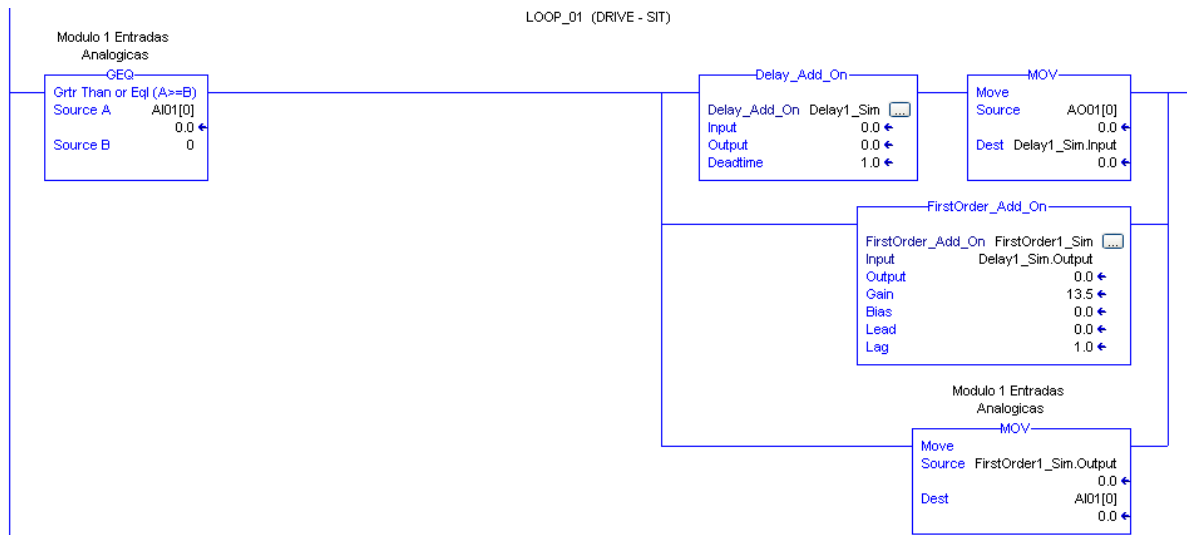


Figura 72. Lógica de la planta motor principal.

Puesto que el motor principal tiene una respuesta muy rápida, no hay espera para observar resultados así que se ha decidido usar la técnica en lazo cerrado de Ziegler-Nichols para ajuste de los parámetros PID.

Un resumen del procedimiento seguido es el que sigue:

- Situar la acción integral, K_i , del controlador a cero (el tiempo integral, T_i , a su máximo valor).
- Situar la acción derivada, K_d , del controlador a cero (el tiempo derivativo, T_d a su mínimo valor).
- Arrancar el sistema con el controlador en automático (en este caso, modulando el potenciómetro).
- Ajustar el valor de ganancia para mantener una pequeña oscilación sostenida y anotar el valor de su posición final (K_u).
- Después de varios ciclos, tomar el tiempo del periodo natural (P_n) que presenta la oscilación. El sistema debe estar marginalmente estable.
- Aplicar fórmula según tabla a conveniencia, según el tipo de sistema.

En este caso los valores obtenidos se acercaban mucho a los valores que finalmente fueron escogidos, pero se tuvieron que corregir claro está, eso ya depende de la dinámica del sistema.

Tabla 8. Ajuste de parámetros PID método del lazo cerrado.

Parámetro	Fórmula
Ganancia	$K_p = \frac{Ku}{2}$
Tiempo integral	$T_i = Pn$
Tiempo derivativo	$T_d = \frac{Pn}{8}$

Para sintonizar el lazo hizo falta un valor de $K_u = 26$, pero debido a que el Pn era muy corto se decide reducir el valor de la ganancia para aumentarlo, estos caso se puede usar $K_u/3$ o $K_u/4$.

Se ha usado $K_u/4$ después de haber probado $K_u/3$, y resulta ser el óptimo. La imagen que sigue muestra la regulación al 77% del máximo de consigna. Se alcanza consigna en no más de 6 segundos (respuesta rápida teniendo en cuenta todo lo que tiene que mover el motor, prácticamente la totalidad de la máquina). Cabe decir que tarda más en alcanzar consigna por la precisión, en realidad el 95% - 98% de la respuesta es alcanzada en dos o tres segundos.

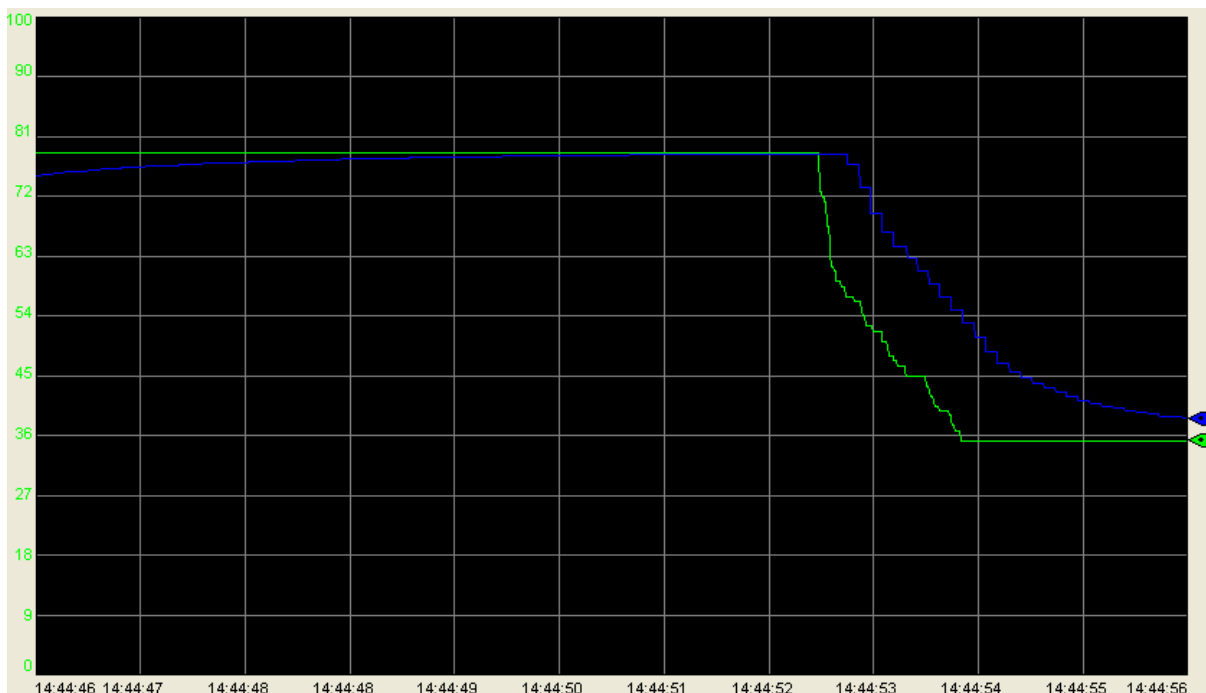


Figura 73. Gráfica del control de velocidad para motor principal. Verde: Consigna, Azul: Velocidad alcanzada.

Los parámetros finalmente cogidos a partir de la aplicación de la tabla 8. Teniendo en cuenta $K_u/4$ son $K_p = 6,5$ $K_i = 6,5$ y $K_d = 0,8$ después de los ajustes.

A continuación, se muestra el lazo del servomotor FD01_MTD_01 (ajuste lateral de papel, mediante tornillo bidireccional).

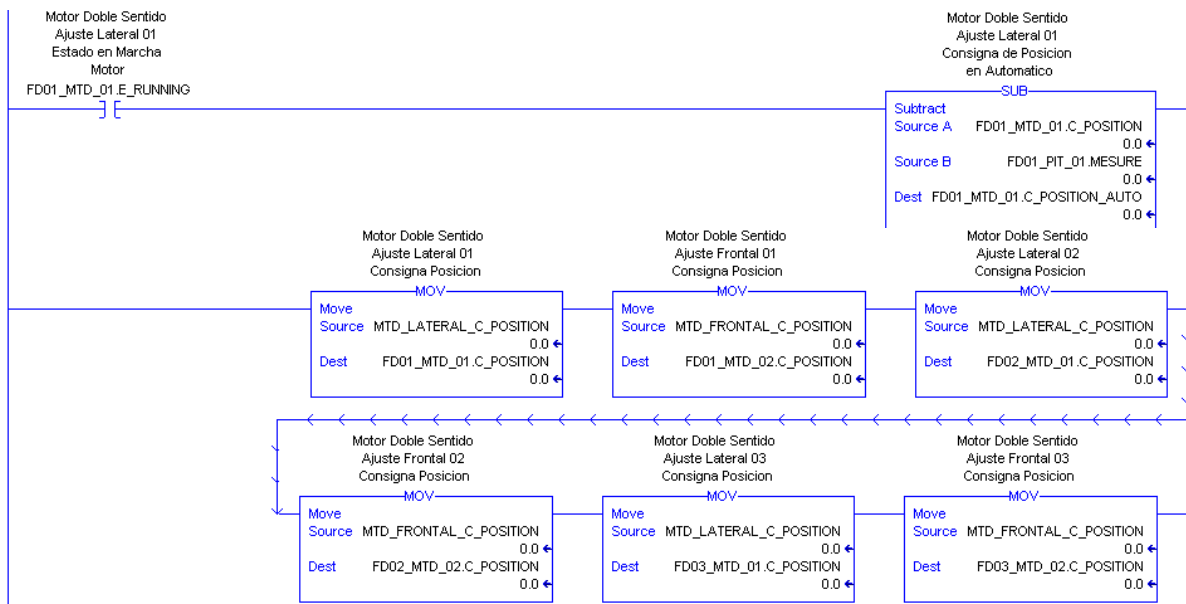


Figura 74. Extracto de código del servomotor de ajuste lateral.

Se observa en la segunda línea que se da consigna a todos los motores laterales a la vez y por otro lado otra consigna a todos los motores frontales. Se requiere que funcionen a la vez al menos que exista alarma en ese caso se tendrá que solucionar la avería, aunque los motores que no tengan alarma harán su trabajo, una vez solucionada la avería se consigue la consigna deseada.

La simulación de la planta se realizará con un primer orden, de poca ganancia y rápido pues el integrador que le sigue le resta ya mucha velocidad, el integrador se pone pues es un control de posición por lo que un primer orden solo nos daría velocidad y con el integrador se consigne la posición.

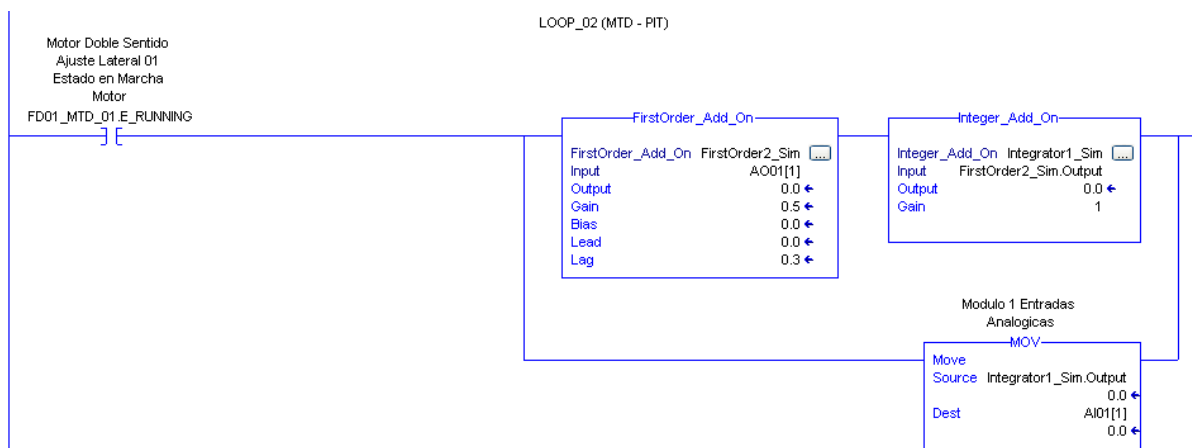


Figura 75. Lógica de la planta servomotor DC.

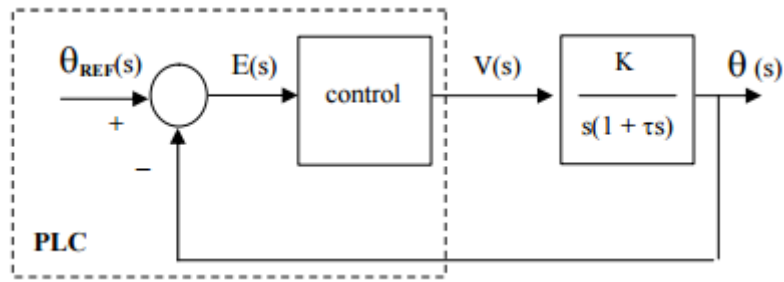


Figura 76. Diagrama de bloques planta servomotor de posición.

Para el control de velocidad solo se puso primer orden ya que se consigue velocidad.

La respuesta del motor de ajuste de topes laterales es la siguiente:

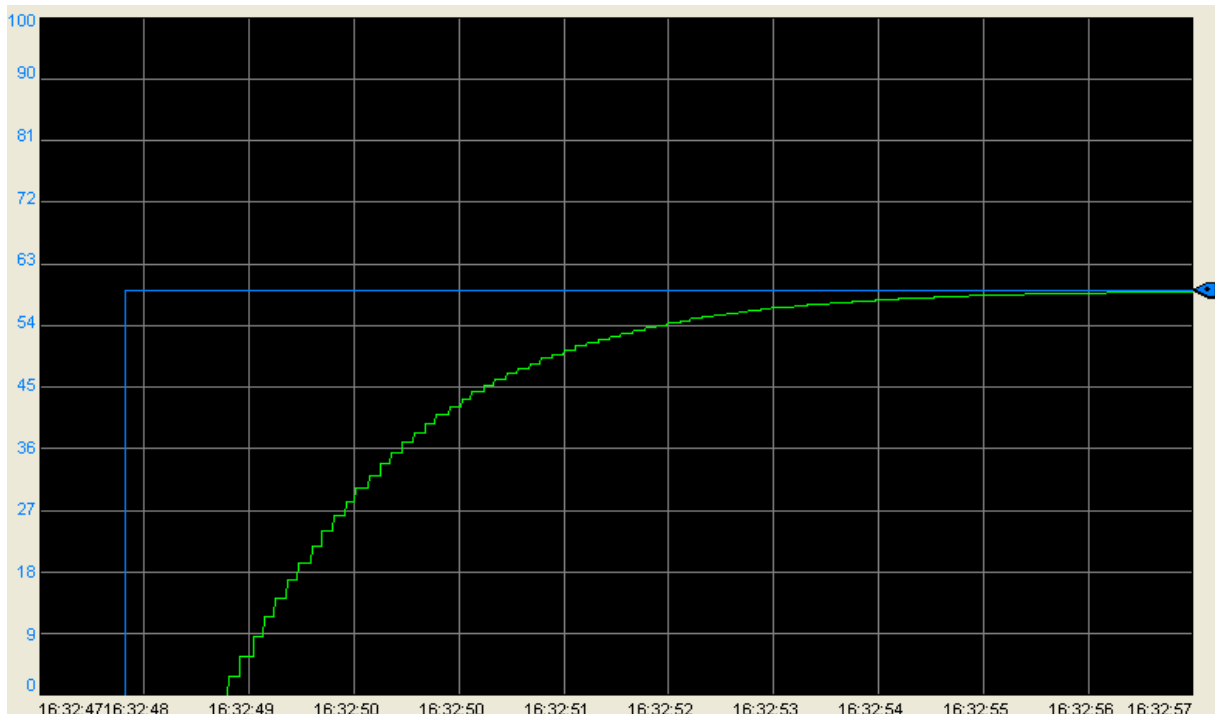


Figura 77. Gráfica del control de posición para el servomotor DC. Verde: Velocidad alcanzada, Azul: Consigna.

8.6. Programa del Software SCADA

En este apartado se incluye toda la información relacionada con el software del SCADA.

8.6.1. Árbol de navegación

El árbol de navegación es el que se muestra en las dos siguientes figuras:

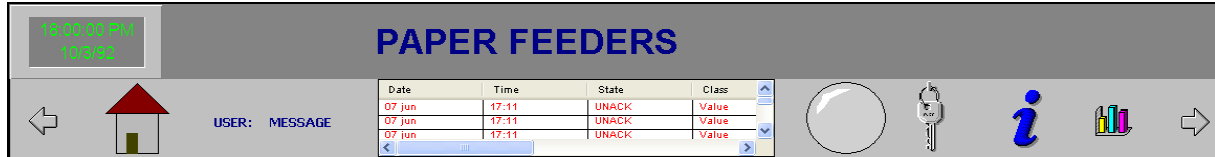


Figura 78. Árbol de navegación 1.

La figura 1. Forma el cabecero de las pantallas principales. De izquierda a derecha se tiene:

- a) Fecha y hora.
- b) Avanza hacia pantalla de la izquierda.
- c) Casa: simboliza la pantalla principal.
- d) Visualización de usuario.
- e) Título de la pantalla: PAPER FEEDERS.
- f) Visor de alarmas.
- g) Piloto alarmas importantes, parpadea a velocidad media.
- h) Identificación
- i) Acceso a la pantalla de información.
- j) Acceso a la pantalla de gráficos.
- k) Avanza hacia pantalla de la derecha.



Figura 79. Árbol de navegación 2.

La figura 2. Forma el pie de las pantallas principales. De izquierda a derecha se tiene:

- a) Acceso a pantalla principal.
- b) Acceso a pantalla de sistema.

- c) Acceso a pantalla de sistema de lubricación.
- d) Acceso a pantalla de Marcadores
- e) Acceso a pantalla de Cosido/Grapado
- f) Acceso a pantalla de Guillotina Trilateral/Cortadora

Las letras de los botones se iluminan en verde para indicar que la pantalla se ha abierto. Además, la navegación contempla pantallas que se abren al hacer *click* sobre el elemento deseado.

8.6.2. Diseño de las pantallas de la aplicación y de los comandos

El diseño de las pantallas ha sido completamente inventado, si es cierto que ha habido cierta inspiración en SCADAS que se han visto tanto en la carrera como en internet o en el trabajo. Pero cabe decir que se ha creado un diseño único y especial para esta máquina pues solo es válido para este tipo de máquinas.

En lo que sigue se mostrarán algunos ejemplos del diseño seguido y los comandos que intervienen. Comentar que solo se muestran ejemplos ya que el grueso de las pantallas se pondrá de anexo pues son muchísimas y cada una tiene un diseño único y especial. Para dar una idea general se mostrarán dos pantallas de sistema, dos pantallas de equipos y una de las pantallas de estadísticas.

La pantalla de la página siguiente muestra el sistema DRIVE – EMB, la única pantalla que no es principal siendo sistema, pero de acceso rápido. Consta de dos equipos: freno y motor con variador principal.

Arriba a la izquierda se muestra PV, SP y CV para ver velocidad, dar consigna y ver variable de control. Abajo aparece el arranque y paro de motor. Más abajo aparece el cuadro con los botones para realizar la simulación de ambos elementos, alarma de arranque y alarma por térmico (motor) o magnetotérmico (freno). Se dan con *click* izquierdo y se quitan con *click* derecho. Hay ciertos casos donde se dan mientras se mantenga pulsado y se quitan una vez se levanta el curso. En otros casos se puede dar *click* y aparece un nuevo botón para realizar la operación contraria, esto ya depende de cada equipo/sistema.

La parte de la derecha de la pantalla está formada por los tres pilotos del motor (arriba) y dos pilotos del freno (arriba), los pilotos como si de un esquema eléctrico se tratase muestran si funciona el elemento, si hay alarma o si hay aviso por causas anómalas como la velocidad no alcanzada en ciertos segundos.

Abajo se muestra el dibujo del motor con dos cuadros en blanco y letras del equipo que es, esto sirve para indicar si está en marcha o no de manera muy rápida y visual. A la derecha del motor se tiene control por mando remoto (mientras se mantenga el mando se alcanza la velocidad, si se suelta para el motor) aunque solo se puede usar durante tres minutos reales o bien ciertos segundos en nuestro caso para apreciarlo mejor, si la máquina se encuentra totalmente en marcha.

Más a la derecha se tiene el control de velocidad mediante potenciómetro. Debajo del motor aparece debajo de cada cuadrado el piloto por actuación de térmico o por actuación de magnetotérmico del freno. Por último, se muestra los estados adquiridos de los equipos y las ordenes que se pueden dar: SERVICE, OSERVICE, RESET, RESET SPEED (solo reinicia el aviso de velocidad, así no es necesario resetear todo si el motor vemos que funciona bien, aunque haya avisado). Como coetilla también se dispone de las horas de funcionamiento de los equipos, aunque en la pantalla de estadísticas ya se indica.

Las alarmas se indican en color rojo y las consignas, sensados, horas funcionamiento, servicios, fuera de servicios y marchas se indican en verde.

El OSERVICE se indica en verde pues es un estado adquirido que no tiene por qué ser una alarma a veces, normalmente indica que el equipo no se puede usar, pero puede ser que sea por alarma o que se quiera dejar bloqueado. Hay equipos y sistemas que no harán saltar la alarma en caso de OSERVICE, otros si lo harán, dependiendo de lo critico que sea el equipo/sistema, esto se ha determinado más o menos a ojo.

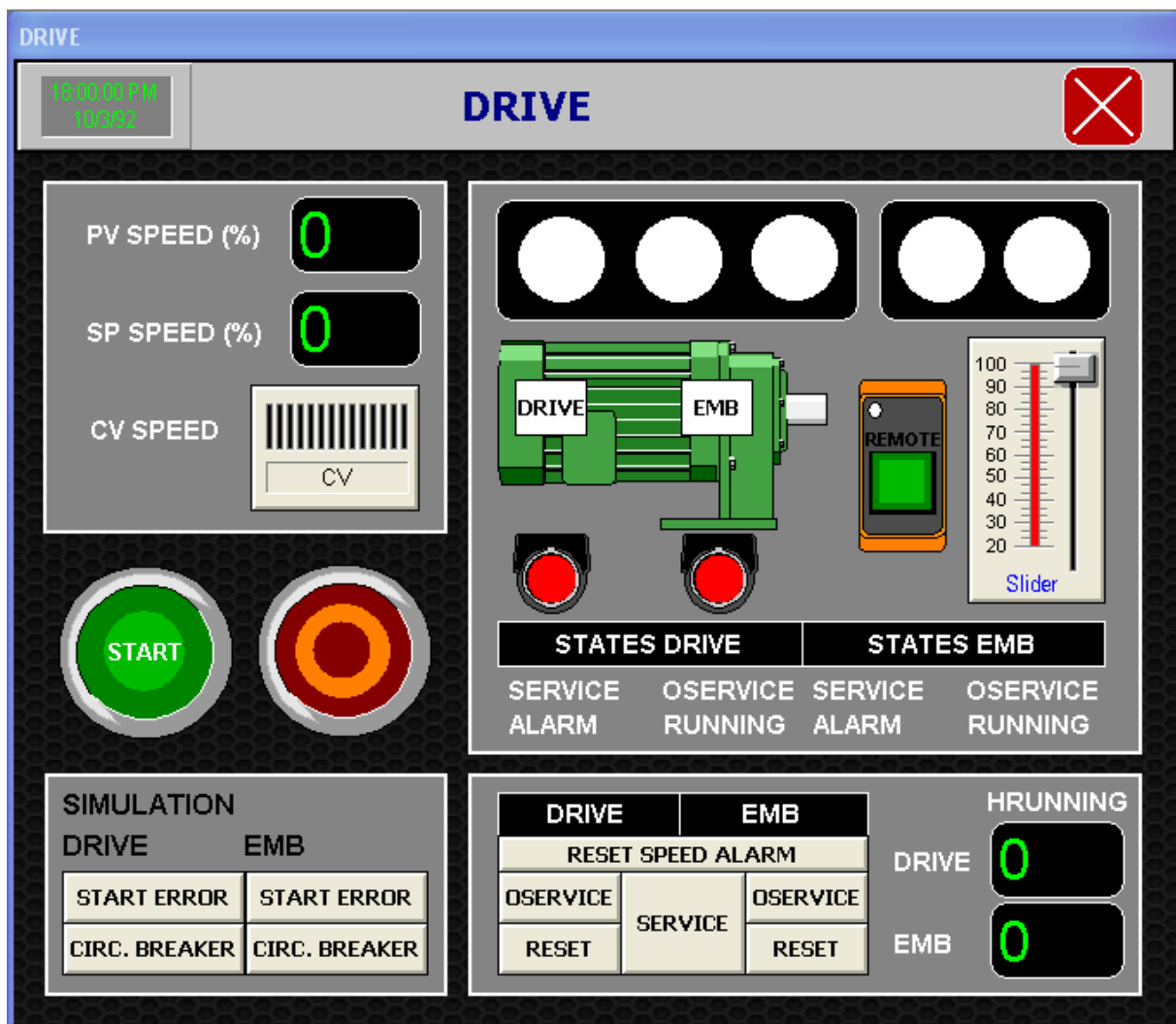


Figura 80. Sistema DRIVE – EMB (Motor principal y freno electromagnético).

Las pantallas que siguen no se describirán con tanto detalle ya que siguen una estructura más o menos parecida y no se quiere alargar la memoria, para eso se dispone todo lo demás en el anexo.

A continuación, se muestra la bomba de aceite FD01_OPM y una de las válvulas que tiene el circuito de aceite:

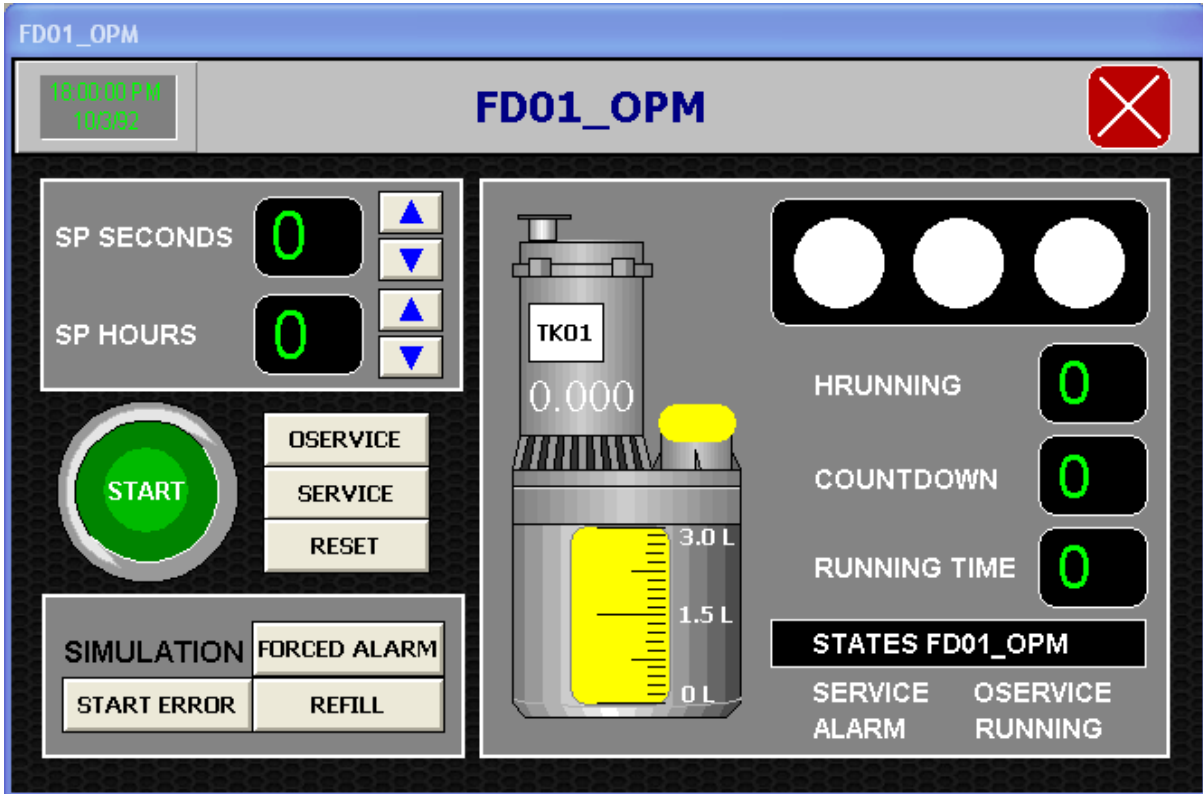


Figura 81. Equipo bomba de aceite para lubricación centralizada.

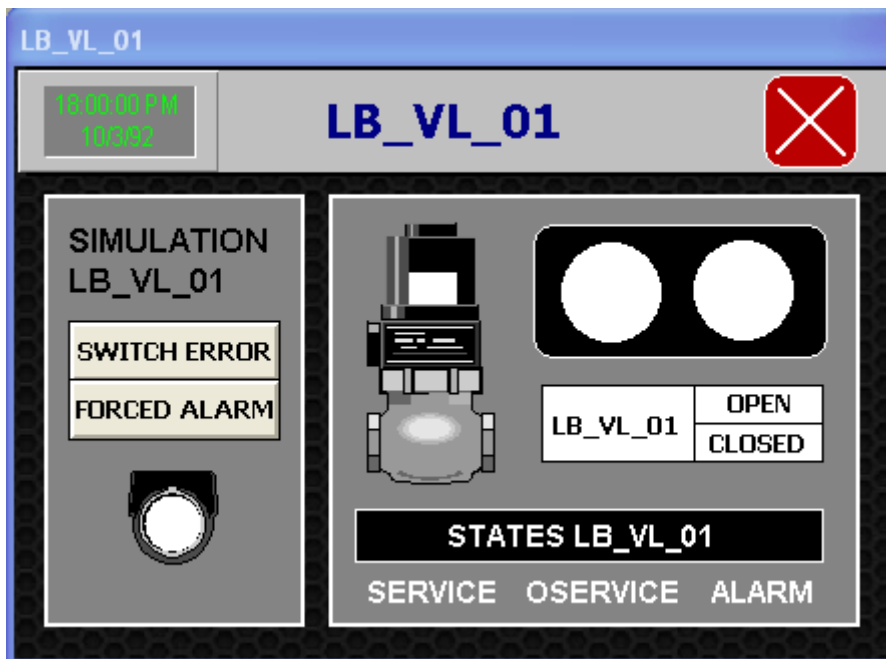


Figura 82. Equipo válvula circuito de lubricación.

Tal como se ha comentado anteriormente se puede observar que la estructura de las pantallas anteriores es muy parecida pues a la izquierda se encuentra digamos la parte de comandos y a la derecha la simbología y estados adquiridos.

La imagen que sigue muestra un sistema principal de la máquina:

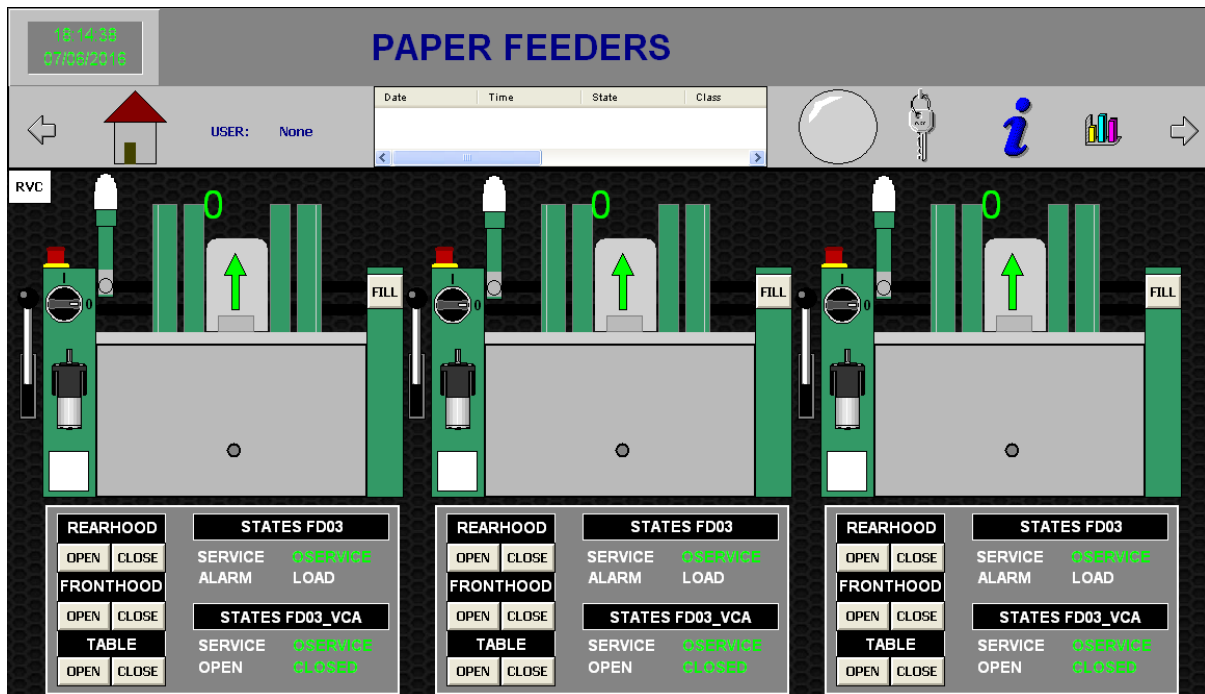


Figura 83. Sistema de Marcadores.

El sistema de la imagen se compone de tres marcadores (FD01, FD02 y FD03). Se puede interactuar totalmente con el marcador, desde embragarlo y seleccionarlo eléctricamente hasta pararlo por emergencia, cargarlo de papel, abrir el motor de ajuste, ver la alarma que tiene dinámicamente, abrir las tapas y ver su contenido, etc. También indican con luz verde cuando bajas papel a la cinta secuencialmente. Si se da *click* a un marcador se abrirá la ventana de control del marcador mucho más detallada y de donde se puede llevar una supervisión de este más concreta, sino pues se muestra la totalidad del sistema dando visión global.

Debajo de cada marcador se dispone los estados adquiridos por los elementos del marcador principales (nótese que los motores no aparecen pues corresponden a otra ventana y no se ha considerado que sean piezas principales en el sistema). Además, aparece a la izquierda de los estados un panel de comandos para abrir y cerrar cuando se desee las tapas o capots de cada marcador.

Por último, se enseña la pantalla de rechazo de pliegos y de estadísticas o gráficos/datos que difieren del contenido de las demás a parte de la de información y usuario claro está.

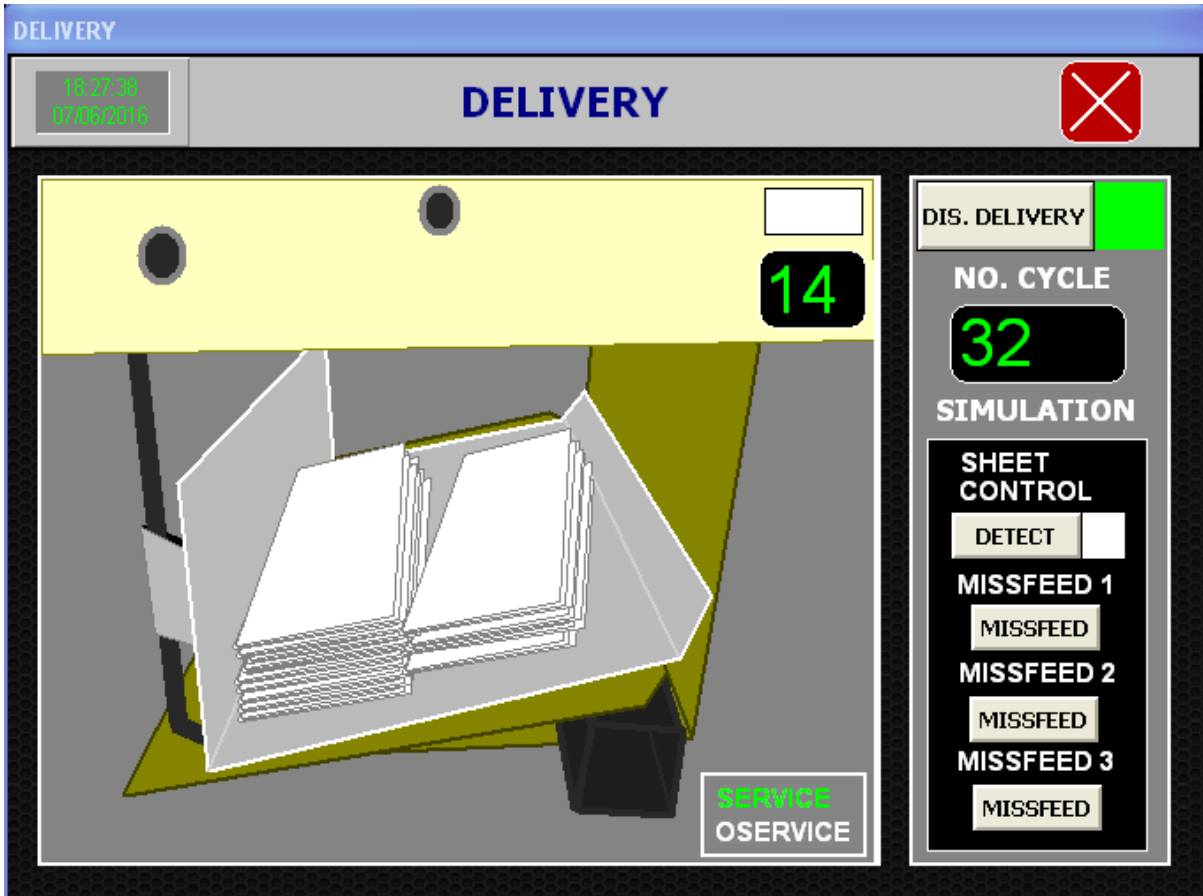


Figura 84. Equipo/Sistema DAC/DELIVERY.

La imagen muestra catorce pliegos rechazados debido a errores provocados en elementos anteriores. A medida que se rechaza papel va subiendo la pila, se reinicia y vuelve a empezar. A la derecha se muestra la habilitación del sistema y la simulación de los errores.

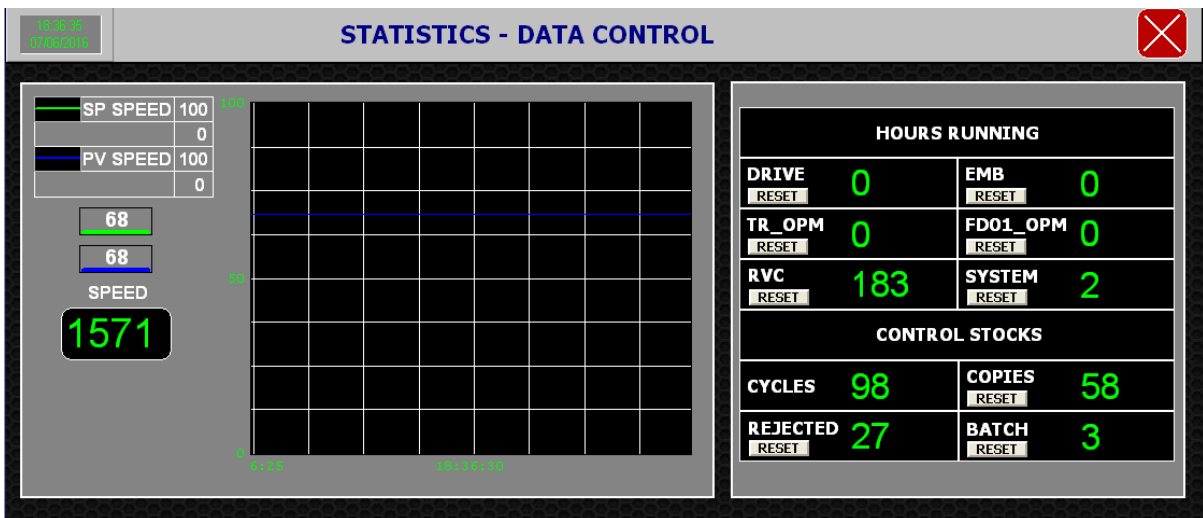


Figura 85. Pantalla gráfico motor principal y estadísticas generales.

La imagen muestra la gráfica del motor principal, la consigna y la velocidad alcanzada. A la derecha se muestra las horas de funcionamiento de equipos y sistemas y también se enseña los *stocks* (papel rechazado, ciclos transcurridos, copias producidas y lotes.

8.6.3. Scripts

Los principales *scripts* de la aplicación son los que siguen:

```
IF SIT_MESURE>0.1 THEN
SHEETCONTROL=SHEETCONTROL + SIT_MESURE/5.2;
ENDIF;
IF SHEETCONTROL>=100 THEN
SHEETCONTROL=0;
ENDIF;
```

Utilizado para dar movimiento rotatorio a una rueda de la cinta que se llama SHEETCONTROL, dedicada a detectar el grueso de papel mediante galga.

Otro de los scripts utilizados es:

```
result=GetProperty("MULTIPLEXOR.value",itag); {se determina cual está seleccionado en el multiplexor}
```

```
IF itag==1 THEN
TREND1=MTD_LATERAL_C_POSITION;
TREND2=FD01_PIT_01_MESURE;
ELSE IF itag==2 THEN
TREND1=MTD_FRONTAL_C_POSITION;
TREND2=FD01_PIT_02_MESURE;
ELSE IF itag==3 THEN
TREND1=MTD_LATERAL_C_POSITION;
TREND2=FD02_PIT_01_MESURE;
ELSE IF itag==4 THEN
TREND1=MTD_FRONTAL_C_POSITION;
TREND2=FD02_PIT_02_MESURE;
ELSE IF itag==5 THEN
TREND1=MTD_LATERAL_C_POSITION;
TREND2=FD03_PIT_01_MESURE;
```

```

ELSE IF itag==6 THEN
    TREND1=MTD_FRONTAL_C_POSITION;
    TREND2=FD03_PIT_02_MESURE;
ENDIF;
ENDIF;
ENDIF;
ENDIF;
ENDIF;
ENDIF;
ENDIF;

```

Sirve para seleccionar que gráfica se quiere ver en función de un *RadioButton* o *Multiplexor*, se ha usado para ver las gráficas de los servomotores en una pantalla única.

```

DIM LogonResult AS DISCRETE;
LogonResult = PostLogonDialog();

```

Utilizado para abrir la ventana de usuario y contraseña y poder acceder.

8.6.4. Diseño de la interfaz de alarmas del sistema

La interfaz de alarmas es muy sencilla, se ha colocado a la altura del ojo humano y se puede ir hacia arriba o hacia abajo mirando las alarmas que hayan salido. No se ha profundizado más en esta interface ya que se ha creado una propia tal como se ha ido comentando a lo largo del trabajo donde las balizas indican el fallo por zonas y se ve enseguida que elemento es.

Date	Time	State	Name
08 jun	08:01	UNACK	Alarm1
08 jun	08:01	UNACK	Alarm2
08 jun	08:01	UNACK	Alarm3

Figura 86. Interfaz de alarmas.

8.6.5. Gestión de usuarios

En el sub-apartado anterior se ha podido ver los scripts para la gestión de usuarios. Aquí se hablará de la filosofía planteada.

Se ha diseñado un nivel de usuario: *Administrator/Operator*

Este podrá acceder a todas las pantallas y dar órdenes a conveniencia. Si no se está registrado se podrá ver todo, pero no dar órdenes. El diseño se ha basado pensando en el taller donde se encuentra la máquina. Por lo que me han comentado máquinas de otro tipo bastante nuevas tienen un panel HMI que necesita de identificación por parte del obrero o del jefe para poder acceder, luego en la sala de arriba del taller el jefe supervisa el proceso (graficas, cantidades, etc) pero este no da órdenes, aunque podría entrar con el otro usuario desde abajo, arriba solo existe la posibilidad de ver el proceso ya que no se está a pie de proceso y no se quiere dar órdenes que luego haya que lamentar.

El código utilizado para la identificación es el mencionado anteriormente.

8.6.6. Gráficas a tiempo real

Se ha creado dos ventanas para la visualización de parámetros en tiempo real.

La primera ventana se llama STATISTICS - DATA CONTROL, en ella aparece la velocidad del motor principal en porcentaje y en ejemplares/h (Ex./h), además se visualiza otro tipo de datos (horas de marcha de equipos y *stocks*).

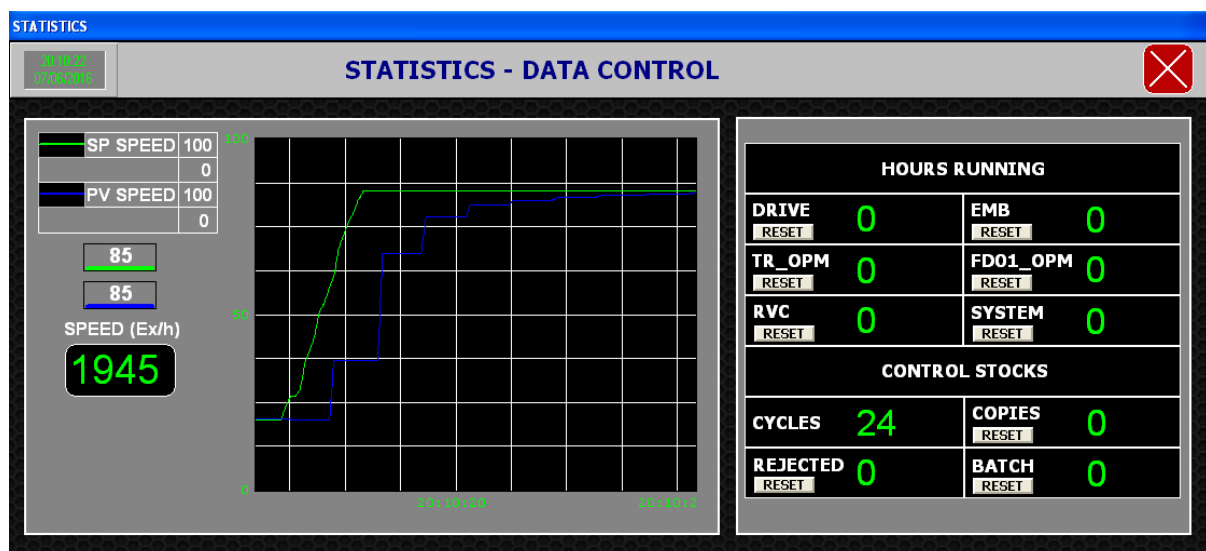


Figura 87. Pantalla gráfico motor principal y estadísticas generales.

La segunda ventana permite visualizar la posición y consigna de cada motor en función del *RadioButton* o Multiplexor. Se selecciona la gráfica que se desee ver.

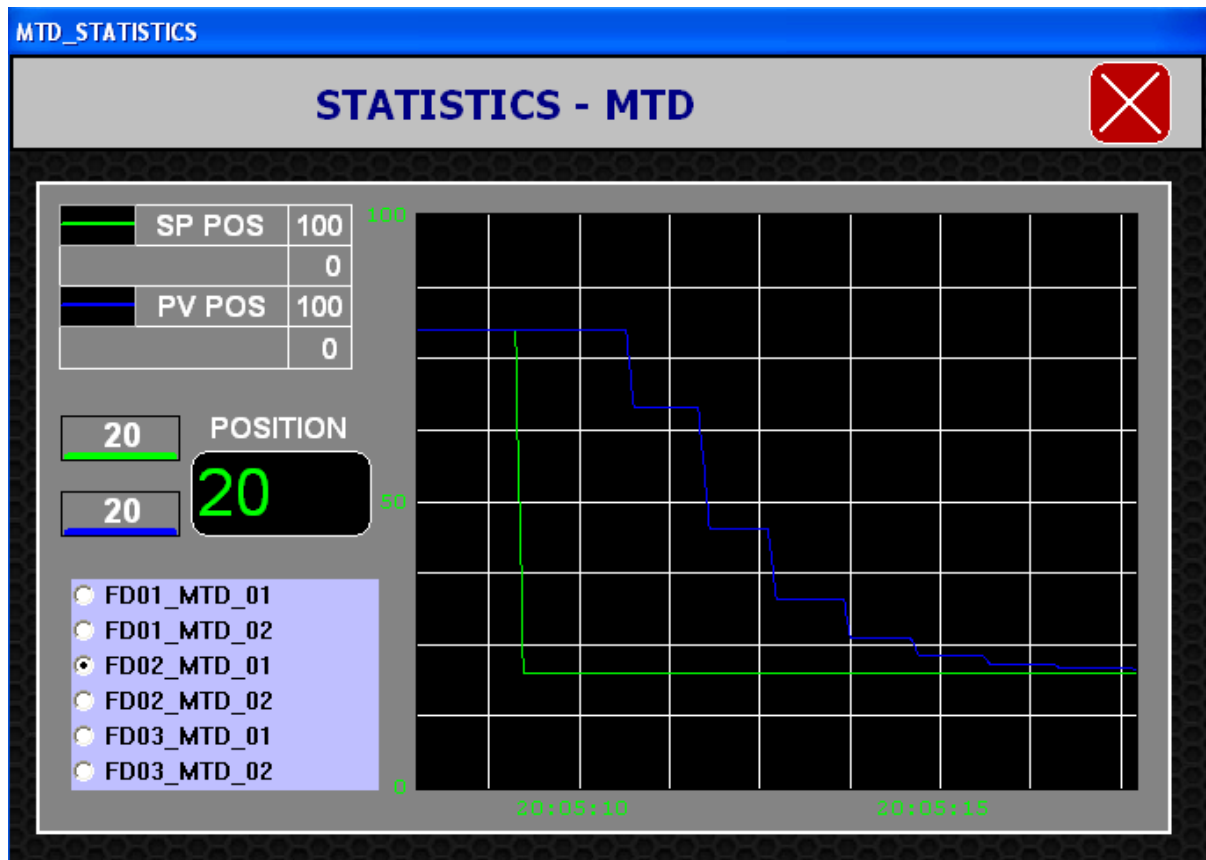


Figura 88. Pantalla gráfico motor principal y estadísticas generales.

No se ha juntado las gráficas de los servomotores con la del motor principal pues este último es muy importante e interesa ver rápidamente cómo evolucionan sus parámetros sin tener que ir seleccionando. La gráfica de la primera imagen está accesible desde cualquier ventana de sistema o ventana principal, sin embargo, la ventana de gráficos para motores solo es accesible a través de la ventana de control de los servomotores pues son gráficas secundarias específicas del elemento.

8.6.7. Guía GEDIS

La guía GEDIS es un documento especialmente dirigido al diseño de HMI's para ambientes industriales. Averigüemos que puntuación se ha sacado según la guía y saquemos conclusiones. A mayor resultado obtenido, mejor se ha realizado el diseño del SCADA según la guía. A continuación, se va a calcular la nota del SCADA realizado para evaluar el trabajo hecho:

Tabla 9. Guía GEDIS.

Indicador	Rango numérico	Puntuación	Comentarios
-----------	----------------	------------	-------------

Estructura			
Existencia de mapa	[SI,NO][5,0]	5	
Número de niveles	[<4, >4][5,0]	5	
División: Planta, área, subárea y equipo	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media estructura		5	
Distribución			
Comparando con la planta real	[a,m,na][5,3,0]	5	
Flujo del proceso	[clar, mig, no clar][5,3,0]	5	
Densidad	[a,m,na][5,3,0]	3	Algunas pantallas tienen muchos más equipos que otras
Nota media distribución		4,3	
Navegación			
Puntos de navegación claros	[a,m,na][5,3,0]	5	
Fácil navegación a la pantalla deseada	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media navegación		5	
Colores			
Ausencia de combinaciones no apropiadas	[SI,NO][5,0]	5	
Número de colores	[4<c<7, c>7] [5,0]	0	Se han utilizado más de 7 colores
Ausencia de intermitencia	[SI,NO][5,0]	5	
Contraste entre fondo y equipos	[a,m,na][5,3,0]	5	
Relación con el texto	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media colores		4	
Texto			
Número de fuentes	[f<4, f>4][5,0]	5	
Ausencia de fuentes pequeñas	[SI,NO][5,0]	0	
Ausencia de combinaciones no apropiadas	[SI,NO][5,0]	5	
Uso de abreviaturas	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media texto		3,75	
Estado de los dispositivos			
Símbolos e iconos uniformes	[a,m,na][5,3,0]	5	
Representación visual del estado del equipo	[SI,NO][5,0]	5	

Nota media del estado de los dispositivos		5	
Valores del proceso			
Visibilidad	[a,m,na][5,3,0]	5	
Localización	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media valores del proceso		5	
Gráficos y tablas			
Formato	[a,m,na][5,3,0]	5	
Visibilidad	[a,m,na][5,3,0]	5	
Localización	[a,m,na][5,3,0]	5	
Agrupamiento	[a,m,na][5,3,0]	3	
Nota media gráficos y tablas		4,5	
Alarmas			
Localización de la pantalla de alarmas	[a,m,na][5,3,0]	5	La esquina donde se encuentra no ofrece la mejor visibilidad
Visibilidad pantalla de alarmas	[a,m,na][5,3,0]	5	
Conocimiento de la situación	[SI,NO][5,0]	5	
Agrupamientos de alarmas	[a,m,na][5,3,0]	5	
Información al operario	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media alarmas		5	
Entrada de datos			
Visibilidad	[a,m,na][5,3,0]	5	
Uso	[a,m,na][5,3,0]	3	No permite introducir decimales
Realimentación	[a,m,na][5,3,0]	5	
Nota media entrada de datos		4,3	

La nota final según la calificación de la guía GEDIS es de 4,5. Buen valor teniendo en cuenta que se ha diseñado el SCADA de manera muy especial, indica que se ha realizado un buen trabajo. Las puntuaciones sobre el tema de colores y fuentes han perjudicado, esto se puede explicar ya que se ha intentado que los dibujos fuesen muy parecidos a la máquina real adquiriendo los mismos colores. En cuanto al texto cabe decir que en la ventana principal hay dos o tres nombres únicamente que no se aprecian tan bien y es debido a que ha sido todo miniaturizado para una correcta visualización global.

8.7. Pruebas y resultados

Una parte importante del proceso de automatización, es realizar pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema. Evidentemente solo se podrán realizar pruebas del funcionamiento entre el software desarrollado y la simulación, ya que no se implementa el sistema en un caso real.

A continuación, se explican las pruebas realizadas:

- a) Prueba de equipos: Una vez se tiene el equipo realizado se realizan pruebas desde el propio PLC cambiando valores de los *tags* si la cosa parece que va bien se procede a la simulación y se crea las herramientas necesarias en SCADA para probar el equipo. Cabe comentar que se detectaron varios errores tanto en simulación de equipo como en el propio equipo
- b) Prueba de sistemas: Se procede exactamente de la misma manera, pero se prueban sistemas individuales nunca de forma global. Una vez el sistema va se pasa al siguiente.
- c) Pruebas finales: Una vez se ha probado equipos y sistemas se procede a probar la totalidad de la máquina causando situaciones imprevistas y malos usos para detectar si nos hemos dejado algo.

En el capítulo de anexos se encuentran las imágenes de los sistemas y equipos en funcionamiento mientras se les hacía pruebas.

CAPÍTULO 9: NORMATIVA

En este capítulo se recoge la información relacionada con la normativa y los estándares aplicables a los proyectos de automatización. A continuación, una breve descripción de las normas/estándares más importantes.

9.1. IEC - 61131

Para la programación del código del PLC, la principal norma es la IEC 61131. Los objetivos de la IEC 61131 son definir e identificar las características principales que se refieren a la selección y aplicación de los PLC's y sus periféricos. Especificar los requisitos mínimos para las características funcionales, las condiciones de servicio, los aspectos constructivos, la seguridad y los ensayos aplicables a los PLC's. Definir los lenguajes de programación (reglas sintácticas, juego de instrucciones, etc.). Dar a los usuarios unas directrices de aplicación y definir las comunicaciones entre los PLC's y otros sistemas. Las principales ventajas que ofrece la norma son:

- Parte 1: Información general.
- Parte 2: Especificaciones y ensayos de los equipos.
- Parte 3: Lenguaje de programación.
- Parte 4: Guías de usuario.
- Parte 5: Comunicaciones.
- Parte 6: Reservada.
- Parte 7: Programación en lógica difusa.

- Parte 8: Guías de programación.

Para que un PLC pueda indicar que cumple la norma, debe cumplir los requerimientos de la parte 2, y ofrecer la posibilidad de programación con al menos uno de los lenguajes indicados por el IEC-61131-3.

9.2. ISA – S5.1

La norma establece la información mínima requerida y adicional para un lazo de instrumentación; donde este lazo forma parte de un proceso descrito sobre alguna clase de dibujo de ingeniería como por ejemplo P&ID (*Piping and Instruments Drawings*).

Se ha tenido en cuenta esta normativa a la hora de hacer la codificación de los *tags* ya que muestra muy claramente que elementos existen, cuantos hay y donde están. Comentar que no se ha seguido al pie de la letra pues la codificación de la máquina realizada es muy variada y a veces usar la norma no es del todo práctico y más en una máquina, para un proceso sería mucho más adecuada.

9.3. Guia GEDIS

En el capítulo anterior se ha usado esta guía de cara a la evaluación del SCADA obteniendo una nota de 4.6 sobre 5, bastante buena para un diseño que no se ha regido en ningún standard de SCADAs.

9.4. Otras normativas

Aunque no se ha podido localizar, existe una normativa para el arranque de máquinas pesadas como es en este caso. Al menos eso me dijeron los operarios del taller. La normativa se aplica a la hora de arrancar, se necesita de un pulso de ciertos ms, luego 5 o 6 segundos de inactividad (no se puede arrancar, aunque se quiera) y sonido de bocina (ISO 8201). Una vez se ha seguido esta secuencia se puede arrancar definitivamente dando un pulso de *start*. Todo está aplicado de cara a la protección del operario, ya que a lo mejor puede haber rondando alguien cerca de la máquina y se requiere que no se inicie en el primer pulso y que se avise con un cierto tiempo de espera para que no haya accidentes.

CAPÍTULO 10:

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto se exponen las conclusiones siguientes:

Los objetivos planteados para el proyecto se han cumplido de forma satisfactoria. Hay algunos temas que se querían trabajar que no se han podido realizar por tiempo (trabajar con más lenguajes de programación como el FBD o ST). Se ha podido comprobar la importancia de los diferentes documentos que se utilizan para la automatización (tipos de datos, listado de equipos y sistemas, áreas, etc.), que implica mucho tiempo hacerlos pero que después ahorran mucho más tiempo y trabajo en el momento de automatizar. La codificación ha sido totalmente esencial para programar y no perder el norte.

También se ha superado con éxito el problema de tener que automatizar una máquina de la cual no existe apenas información en formato texto en internet. Únicamente se ha podido trabajar sobre videos, fotos y visitas a las instalaciones.

La planificación temporal ha sido bastante mala aun trabajando cada día una cantidad de horas excesivas ha sido insuficiente para todo lo que se quería hacer. Cabe pensar que contra más tiempo se lleva en el mundo de la automatización más fácil es planificar las tareas y más rápido se avanza al hacer un proyecto de este tipo. Calcular el tiempo de las tareas con mayor precisión hubiese sido clave para evitar nervios hasta el último momento, pero es algo que se debe aprender con el tiempo y la experiencia.

Quizás se ha perdido demasiado tiempo buscando información y recopilando material para poder trabajar (videos, fotos). Hasta que no se ha tenido toda la información prácticamente no se ha podido avanzar a pasos agigantados. Lo malo es que a veces mucha de las cosas buscadas o material que se ha obtenido no ha servido para nada ya que se ha tenido que descartar. Esto es debido a que se ha intentado por ejemplo realizar una mejora hasta el último momento por orgullo y no se ha podido finalizar debido al tiempo.

El haber realizado una mejora es un plus a tener en cuenta pues ha servido para poder explorar totalmente como funciona una gran máquina por dentro.

Comentar que queda pendiente realizar las mejoras que se han descartado por falta de tiempo pese a ser muy interesantes y también queda pendiente la incorporación de más equipos y sistemas a la máquina pues esta es ampliamente escalable y ajustable hasta puntos insospechables. Es por esto último que se han

fijado las estaciones de la máquina en tres marcadores, una cosedora, una guillotina trilateral y una salida. Se podría haber añadido más marcadores, algunos especiales pues doblan el papel y llevan motores propios, sistemas de control de fallos, otro tipo de salida, programación sincronizada (se ha utilizado, pero se puede mejorar), motores para ajuste de guillotina, etc.

Si no se han añadido es porque no aportan más conocimientos al trabajo, pero si mucha más faena ya que manejar tantas variables podría ser un verdadero rompecabezas.

Remarcar que se ha preferido ante todo dejar claro cómo funciona la máquina y complicar la programación en vez de abrumar con cantidades ingentes de variables que no aportan nada.

Finalmente decir que ha sido un proyecto muy bonito donde poco a poco iba viendo resultados que motivaban y hacían que siguiese adelante. Me ha ayudado muchísimo a mejorar mi habilidad a la hora de programar y a la hora de pensar como ingeniero pues me veo con la capacidad de diseñar una máquina más sencilla con tiempo y dedicación.

CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía se divide en dos partes. La primera, referencias bibliográficas, son las fuentes de donde se ha extraído información plasmada directamente en el texto. La segunda, bibliografía de consulta, incluye las fuentes de las que se ha extraído información que no ha sido plasmada directamente en el trabajo, sino que han servido como base o consulta.

11.1 Referencias bibliográficas

[1] BAUMER. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: <<http://www.baumer.com/es-en/>>.

[2] IFM. Sensores fotoeléctricos para aplicaciones generales. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: <http://www.ifm.com/ifmmx/web/pmain/010_050_030.html>.

[3] NIDEC MOTORS & ACTUATORS. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: <<http://nidec-ma.de/en/index.html>>.

[4] RS. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: <<http://es.rs-online.com/web/>>.

[5] SCHNEIDER-ELECTRIC. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: <<http://www.schneider-electric.es/es/>>.

11.2 Bibliografías de consulta

- [1] Caro, J.G. and S.S. Sin. 2014. Diseño SOFTWARE de Sistemas para Control de Procesos.
- [2] Gámiz, Javier. Apuntes asignatura optativa: Tecnología de la Producción.
- [3] LearnChemE. First-Order Lead Lag Systems. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: < <https://www.youtube.com/watch?v=FKoaP0UqnvI>>.
- [4] MÜLLER MARTINI. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: < <http://www.mullermartini.com/en-GB/Home/>>.
- [5] ROCKWELL AUTOMATION. Logix5000 Controllers General Instructions Reference Manual. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en:
- [6] ROCKWELL AUTOMATION. PID en ControlLogix RSLogix_5000. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en:
< http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003_-en-p.pdf>.
- [7] SEW-EURODRIVE. [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: < <https://www.sew-eurodrive.es/inicio.html>>.
- [8] Universidad Miguel Hernández. PRÁCTICA 10: CONTROL DE UN MOTOR DC MEDIANTE AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC). [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: < <http://isa.umh.es/asignaturas/ai/practicas/p10.pdf>>.
- [9] WIKIPEDIA. Grado de protección IP [en línea]. Actualización diaria. [Consulta: 07 junio 2016]. Disponible en: < https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protecci%C3%B3n_IP>.