



Capítulo II

Análisis y propuesta de medios técnicos para la encelofanadora Sollas 20.

2.1. Introducción

La instrumentación representa un componente esencial en el proceso y los sistemas de control, ya que proporcionan la recolección de la información para el procesamiento posterior. Es por eso que, de la correcta elección de los instrumentos dependerá la veracidad de los valores obtenidos como resultado final.

En este capítulo se realiza la descripción de los medios técnicos que se encuentran actualmente en la encelofanadora, viendo sus principales características. También se propone la nueva instrumentación necesaria que permita la automatización de la máquina.

2.2. Descripción de la instrumentación actual.

En la actualidad la máquina encelofanadora Sollas 20 cuenta con la siguiente instrumentación:

Sensor de contacto. Fabricante Schmersal. Modelo AZ16-02ZVRK (ver Figura 2.1) los datos técnicos se encuentran en el Anexo 4. Existen cuatro, son utilizados en el cierre de puertas para la seguridad del operario.



Figura 2.1: Sensor de contacto.

Sensor Fotoeléctrico. Fabricante Sick. Modelo WT12-P4181 (ver Figura 2.2) para ver los datos técnicos ver Anexo 5. Utilizado para detectar la presencia de caja en la línea de trabajo.



Figura 2.2: Sensor Fotoeléctrico.

Sistema para el suministro de aire a presión. Esta instrumentación es utilizada para distribuir y controlar la presión de aire en la máquina (ver Figura 2.3). Estos están compuestos por instrumentos de varios fabricantes, la mayoría ya obsoletos.



Figura 2.3: Sistema para el suministro de aire a presión.

1. Válvula de distribución. Fabricante Camozzi. Modelo H.S.V.-133-1/4.-07.
2. Unidad purificadora de aire. Fabricante Festo. Tipo 1/4''.
3. Filtro 1/4'' 8MU. Fabricante Bosch. Modelo 0821.303.925.
4. Válvula de seguridad de arranque suave. Fabricante Festo. Modelo MFHE-3-1/4-B.
5. Válvula de arranque suave. Fabricante Bosch. Modelo 0821.300.925.
6. Protección de presión de aire. Fabricante Festo. Modelo PEV-1/4''-B.
7. Válvula reguladora de presión 1/4''. Fabricante Festo. Modelo 150046-LR-1/4''-B.

La Figura 2.4 muestra tres electroválvulas de fabricante Festo. Modelo MN2H-5/2-D-02-FR. son utilizadas para:

8. Los sopladores de aire que guían el celofán.
9. Los selladores laterales.
10. El corte de incisión en la tira de desgarre.

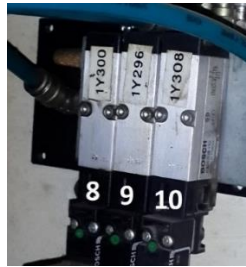


Figura 2.4: Electroválvulas.

Sensor inductivo. Fabricante Telemecanique. Modelo XS1-N18PC410D (ver Figura 2.5) sus datos técnicos pueden verse en el Anexo 6. De este tipo existen tres, ubicados en el interior de la máquina, son activados por levas y estos accionan:

1. El cilindro del corte de incisión con la cinta de desgarre.
2. El cilindro de los selladores laterales.
3. La activación o desactivación del freno y el cloche del rodillo de alimentación del celofán de manera alternada.



Figura 2.5. Sensor inductivo.

Variador de frecuencia. Fabricante Danfoss (ver Figura 2.6) sus datos técnicos se encuentran en el Anexo 7. Es utilizado para controlar la velocidad del motor principal.



Figura 2.6. Variador de frecuencia.

Controlador de temperatura. Fabricante Omron. Modelo E5CS-R1 1PX. (ver Figura 2.7) el Anexo 8 muestra sus datos técnicos. Existen, funcionando, tres controladores de este tipo utilizados para:

1. Control de la temperatura en el sellador longitudinal.
2. Control de la temperatura en el sellador lateral derecho.
3. Control de la temperatura en el sellador lateral izquierdo.



Figura 2.7: Controlador de temperatura.

Sensor de temperatura. Fabricante TUK, Modelo PT100-6X100-1.5M (ver Figura 2.8) cuyos datos técnicos se encuentran en el Anexo 9. Hay tres sensores de este tipo, uno en cada sellador.



Figura 2.8: Sensor de temperatura.

2.3. Instrumentación propuesta.

2.3.1. Propuesta para el sistema de alimentación del Celofán.

Para la modernización del sistema de alimentación del celofán se propone la sustitución de todo el sistema mecánico de leva, cadena y muelle por un motor que haga girar a un rodillo, que disminuya el tiempo de alimentación de celofán, con la exactitud de

posicionamiento requerida, lo que permitirá disminuir el tiempo de mantenimiento y facilitar la configuración para el cambio de formato.

2.3.1.1. Bases Teóricas.

Los motores eléctricos son una de las bases más importantes de la industria de hoy en día. De ahí la importancia de elegir un motor eléctrico de manera adecuada tomando en cuenta los criterios pertinentes.

El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en mecánica por medio de la acción generada por los campos magnéticos en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias formadas por un rotor y un estator.

Son utilizados en infinidad de sectores tales como instalaciones industriales, comerciales y particulares. Su uso está generalizado en ventiladores, vibradores, bombas, medios de transporte eléctricos, electrodomésticos, esmeriles angulares y otras herramientas eléctricas.

Para seleccionar el motor que cumpliera con las necesidades de la aplicación se tuvieron en cuenta los siguientes requisitos básicos [7]:

- Tipo de sistema eléctrico con el que cuenta la empresa: En casi todas las empresas industriales poseen sistemas trifásicos.
- Tensión dentro de las instalaciones de la empresa: Es esencial conocer el nivel de tensión con el que se trabaja en la empresa para que la potencia del motor al momento de realizar su trabajo sea la correcta, para no esforzar la máquina y sus componentes internos.
- Frecuencia: La frecuencia se considera especialmente para poder obtener un valor correcto en la velocidad del motor. La frecuencia en Cuba es de 60 Hz.
- Condiciones del ambiente de trabajo del motor: El ambiente donde el motor va a ser ubicado debe tener en cuenta la altura sobre el nivel del mar, temperatura de su entorno y exposición a líquidos o polvo.

También se necesita conocer las características de la carga, estas se dividen en tres grupos [8]:

- Par constante: Las cintas transportadoras de materiales, extrusoras bombas de desplazamiento positivo, funcionan a niveles relativamente estables de par.
- Par con cambio abrupto: La carga necesaria para ascensores, compactadores, punzadoras, sierras, y transportadores cambian abruptamente de menos a más en un corto período de tiempo, a menudo en una fracción de segundo.
- Par que cambia con el tiempo: Las cargas de bombas centrífugas, ventiladores, sopladores y equipos similares tienden a ser variables en el tiempo.

Los motores eléctricos se dividen en dos grandes grupos, los que pueden ser impulsados por fuentes de corriente continua (CC) y por fuentes de corriente alterna (CA).

Principales tipos de motores [9]:

1. Motores eléctricos de corriente continua (CC): Están diseñados para desarrollar máximo par desde la primera revolución, y la variación de velocidad se puede realizar variando la tensión de entrada. Además, son compactos, por lo que son los actuadores preferidos para aplicaciones mecatrónicas. Son ampliamente utilizados para aplicar tracción, donde se requiere máximo par desde el arranque, bajo nivel de ruido y vibración, con alta eficiencia. Su funcionamiento se basa en que la corriente pasa a través de la armadura del motor generando un par de fuerzas, debido a la acción del campo magnético, haciendo girar la armadura. Entre estos motores se encuentran principalmente:

- Motores serie.
- Motores de excitación compuesta.
- Motores de excitación en paralelo.
- Motores paso a paso (PAP).
- Servomotores.

2. Motores eléctricos de corriente alterna (CA): Tienen la misma constitución de los motores eléctricos de CC y se diferencian en que su alimentación eléctrica es con CA. Entre estos motores se encuentran principalmente:

- Motores asíncronos.
- Motores síncronos.
- Servomotores sin escobilla (Brushless).

2.3.1.2. Selección del Motor.

Entre estos tipos de motores los que más se adaptan al principal requerimiento (tener la mayor exactitud posible en el posicionamiento) son los motores paso a paso y los servomotores, por lo que para la selección se realizó un análisis de sus principales características.

1. Motores Paso a Paso (PAP): Un motor paso a paso tiene el principio de funcionamiento más sencillo que cualquier otro tipo de motor eléctrico, gira un determinado ángulo de forma incremental, permitiendo realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos (pueden variar desde 1. 8° hasta unos 90°). Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. Otras de sus características son [9]:

- La necesidad de una etapa de potencia.
- La capacidad de soportar grandes cargas.
- La excelente respuesta ante arranque, parada y reserva.

2. Servomotores (Servo): Un sistema llamado servo es aquel en el cual existe la medición de una variable la cual se desea regular y mantener en un valor deseado [10]. En el caso de los motores, un servomotor es un dispositivo del cual se puede

conocer o regular la variable de posición con dispositivos de retroalimentación, con lo que se puede conocer en qué posición se encuentra o hacia donde se está desplazando, y así poder regular y llevar al servomotor a la posición deseada, logrando ajustes con mayor precisión aún en los desplazamientos cortos. Entre sus características principales están [11]:

- La capacidad de mantener su Par a altas velocidades.
- La facilidad de contar con un sistema de control con retroalimentación.
- Las pérdidas en el rotor son muy bajas.
- La construcción cerrada útil para trabajar en ambientes sucios.

Luego de apreciar las características de ambos motores se acordó seleccionar un Servomotor por poseer una mayor precisión en el posicionamiento, ser impulsados por corriente alterna, alcanzar altas velocidades sin perder capacidad de torsión y contar con una retroalimentación para su control. Entre estos, los más utilizados en las industrias actualmente, son los servomotores Brushless. Su principio de funcionamiento se encuentra en el Anexo 10.

2.3.1.3. Dimensionamiento del Motor [12], [13].

1. Cálculo del perfil de velocidades

Para la selección del servomotor más adecuado es necesario conocer el perfil de velocidad que se necesita.

Un ciclo de trabajo continuo de la máquina demora 2 segundos, de este tiempo la mitad es utilizado para la alimentación del celofán, por lo que demora en este proceso 1 segundo.

Para aumentar la velocidad de la alimentación se redujo el tiempo de trabajo continuo hasta 0.5 segundos. La selección del servomotor se realizó tal que este garantice un desplazamiento de 360° en 0.5 segundos.

De este nuevo tiempo, el 25% del se utilizó para acelerar de 0° a 60°, manteniendo esa velocidad constante durante el 50% del ciclo y al llegar a 300° se desacelera hasta llegar a 0 rpm. Para esto se tuvo en cuenta el índice de reducción proporcionado por un reductor que estará acoplado al servomotor (20:1). La Tabla 2.1 muestra los datos.

A partir del levantamiento de información se calculó con la expresión (1) la velocidad de cada tramo, obteniéndose un perfil de velocidades trapezoidal (ver Gráfico 2.1) con una velocidad máxima de 3200 rpm, al mismo tiempo, es la velocidad mínima a la que debe ser capaz de trabajar el servomotor.

$$N_{PICO} = \frac{(60^\circ * i * 1) * 2}{0.125s} \quad (1)$$

$$N_{PICO} = 19200^\circ/s = 3200 \text{ rpm}$$

Donde:

N_{PICO} : velocidad máxima

i : índice de reducción

Tabla 2.1: Tabla de velocidad y posición en un tiempo determinado.

Tiempo [s]	Intervalo [s]	Velocidad [rpm]	Posición [°]
0.125	0.125	3200	60
0.375	0.25	3200	300
0.5	0.125	0	360

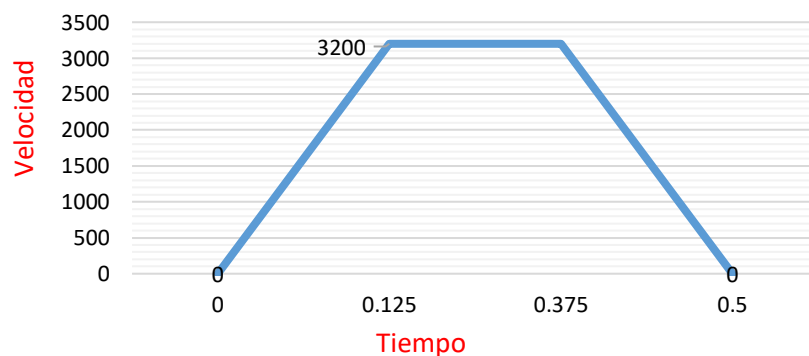


Gráfico 2.1: Perfil de velocidad trapezoidal

2. Cálculo del par motor necesario

De una de las leyes de la dinámica de Newton:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} \quad (2)$$

Donde:

F: fuerza

m: masa

a: aceleración

Utilizando (2), pero aplicada a un sólido en rotación nos queda (3):

$$\mathbf{T} = \mathbf{J} \cdot \mathbf{v}\varphi \quad (3)$$

Donde:

T: Par

J: Inercia

vφ: velocidad angular

De la tabla de velocidades por tramo se desprende que la máxima aceleración angular se puede calcular utilizando (4).

Para la aplicación se tiene que el motor debe acelerar o desacelerar a 3200 rpm en 0.125 segundos, por lo que:

$$\mathbf{a}\varphi_{\text{MÁX}} = \mathbf{N}_{\text{PICO}} / \mathbf{t} \quad (4)$$

$$\mathbf{a}\varphi_{\text{MÁX}} = \frac{3200 \text{ rpm}}{0.125 \text{ s}} = \frac{25600 \text{ rpm}}{\text{s}}$$

Donde:

aφ MÁX: aceleración angular máxima

t: tiempo utilizado para acelerar o desacelerar

Su equivalente en radianes es: 2680,8 rad/s²

Para calcular el Par también es necesario calcular el momento de Inercia. Este cálculo de la inercia total del sistema será la suma de las inercias de cada uno de los componentes rotativos del sistema. Por ejemplo, si el motor ha de mover un plato giratorio y entre el plato y el eje del motor hay un reductor, se tendrá que calcular la inercia del plato (incluida la carga) y del reductor (facilitado por el fabricante). Si existiera alguna fuerza exterior a favor o en contra del par motor, ésta también debería de ser sumada o restada para el cálculo del Par.

El momento de inercia de la carga, que en este caso es un rodillo, se calcula una vez conocida la geometría y la densidad del material. Será suficiente con aplicar la fórmula del sólido rígido correspondiente (ver Anexo 11) [14]. Es necesario tener en cuenta el índice de reducción y el momento de inercia del reductor dado por el fabricante, (ver Anexo 14).

El valor del total de las inercias calculada es $1.703 \cdot 10^{-4} \text{ Kg } m^2$, para el cálculo del Par máximo se utilizó (5)

$$T_{\text{MÁX}} = J \cdot a\varphi_{\text{MAX}} \quad (5)$$

$$T_{\text{MÁX}} = 1.703 \cdot 10^{-4} \cdot 2680.8 = 0.45 \text{ Nm}$$

Por los cálculos realizados se necesita un motor capaz de:

- Obtener una velocidad de 3200 rpm
- Con Par pico superior a 0.45 Nm

El valor del Par máximo normalmente se corresponde con valores del 300% o más del par nominal del motor.

El fabricante del motor siempre nos dará dos datos referidos al par:

- Par nominal (Es el Par para trabajo continuo del motor).
- Par Pico (Es el Par que instantáneamente el servo es capaz de suministrar y para evitar quemar el motor, el servoamplificador generará una alarma y entrará en fallo).

Este ciclo no es severo, por tanto, existe un tiempo en el que el motor no está acelerando ni decelerando, el motor se encuentra totalmente parado por lo que el Par efectivo o RMS disminuye notablemente y se calculó como se muestra en (6).

$$(T_{RMS})^2 = (T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3 + T_4^2 t_4) / (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) \quad (6)$$

$$T_{RMS} = 0.32 \text{ Nm}$$

Donde:

T_{RMS} : Par efectivo

T_i : Par en cada instante de tiempo

t_i : intervalos de tiempo

Por tanto, se necesita un motor con un Par nominal que sea igual o mayor que 0.32 Nm.

3. Potencia requerida

Para el cálculo de la potencia demandada se utilizó la expresión (7).

$$P = T \cdot v \quad (7)$$

$$P = 0.32 \cdot 335.10 = 107.23 \text{ W}$$

Donde:

P : potencia

T : Par

v : velocidad den rad/seg

Teniendo en cuenta el dimensionamiento de servomotores para esta aplicación se escogió el servomotor de Schneider Electric, modelo BSH 0551T 11F1A (ver Figura 2.9) sus datos técnicos se encuentran en el Anexo 12. Este motor varía sus propiedades en función del controlador que se le acople.



Figura 2.9: Servomotor con su respectivo controlador.

Entre los servo-controladores recomendados por el fabricante, el que permite que el servomotor cumpla con los requisitos es el LXM32 MU45M2 de Schneider Electric (ver Anexo 13), este controlador le aporta ventajas en su utilización, además de otras características que aumentan su rendimiento, tales como [15]:

- Capacidad de sobrecarga: la elevada corriente de pico (hasta 4 veces la corriente nominal) aumenta el rango de movimiento.
- Densidad de potencia: el tamaño reducido de los servo-controladores ofrece la máxima eficiencia en un espacio pequeño.
- Permite ahorrar espacio de armario, reduce el espacio que ocupa la máquina y minimiza los costes.
- Amplio ancho de banda: la mayor estabilidad de la velocidad y la mayor aceleración aumentan la calidad del control.
- Control de motores: la reducción de la vibración, el observador de velocidad y el filtro adicional de eliminación de banda aumentan la calidad del control.

La versatilidad de sus especificaciones aporta una excelente flexibilidad a la gama de servo-controladores Lexium 32 y permite integrarlos en distintas arquitecturas de sistemas de control. Está provisto de entradas y salidas digitales o analógicas, que se pueden configurar para adaptarlas mejor a las aplicaciones.

También posee interfaces de control para facilitar el acceso a diversos niveles de arquitectura:

- Posee una interfaz de control que opera a través del tren de impulsos.
- Cuenta con un puerto combinado CANopen/CANmotion que mejora el rendimiento del sistema de control.
- Se puede conectar a las redes y buses de comunicación principales mediante diversas tarjetas de comunicación. Están disponibles los siguientes protocolos: DeviceNet, EtherNet/IP y Profibus DP.

Acoplado al eje del servomotor se conecta un reductor con un índice de reducción (20:1) para cumplir los requerimientos, teniendo en cuenta esto se seleccionó el reductor planetario GBX también de Schneider Electric, modelo GBX0400200551F (ver Figura 2.10) para ver sus datos técnicos ver Anexo 14.



Figura 2.10: Reductor GBX0400200551F.

2.3.1.4. Programa SoMove.

SoMove es el programa encargado de configurar el servo-controlador Lexium 32, fácil de usar y además permite configurar otros dispositivos de control de motores Schneider Electric como:

- Variadores de velocidad ATV 12, ATV 312, ATV 31, ATV 61 y ATV 71
- Arrancadores ATS 22 y ATS 48
- Arrancadores-controladores TeSys U
- Sistema de gestión de motores TeSys T
- Servo-controladores Lexium 32.

Para facilitar la configuración y el mantenimiento, se puede usar una conexión directa por cable USB/RJ45 o una conexión inalámbrica Bluetooth. También es compatible con la herramienta de configuración Multi-Loader y con el programa SoMove Mobile para teléfonos móviles. Tiene diferentes funciones como el modo de *off-line*, que permite acceder a todos los parámetros del dispositivo. Este modo se puede utilizar para generar la configuración del dispositivo. La configuración se puede guardar, imprimir y exportar a programas de ofimática. Además, comprueba la consistencia de los parámetros, validando las configuraciones creadas en dicho modo.

Otras funciones también son Ajuste y monitorización, esto incluye:

- Osciloscopio
- Visualización de parámetros de comunicación.

- Control sencillo mediante la interfaz de usuario del panel de control
- Guardado de la configuración final.

Al mismo tiempo ofrece un acceso rápido y directo a toda la información relativa al dispositivo a través de 5 pestañas:

- *My Device* (Mi dispositivo): muestra toda la información sobre el dispositivo (tipo, referencia, versiones de programas, tarjetas opcionales, etc.).
- *Parameters* (Parámetros): muestra todos los parámetros de configuración del dispositivo, organizados en una tabla o en forma de diagramas.
- *Faults* (Fallos): muestra una lista de los fallos que pueden producirse en el dispositivo, el registro de fallos y los fallos o alarmas activas en ese momento.
- *Monitoring* (Monitorización): ofrece una visualización dinámica del estado del dispositivo, sus E/S y todos los parámetros de monitorización. Le permite crear su propio panel de control seleccionando sus parámetros y la forma en la que quiere representarlos.
- *Oscilloscope* (Osciloscopio): proporciona un osciloscopio de alta velocidad (registro en el dispositivo) o un osciloscopio de baja velocidad (registro en el programa en el caso de los dispositivos que no poseen un osciloscopio integrado).

En este programa se escoge el modelo del motor y el servo-controlador, se configuran sus parámetros de comunicación, módulos de E/S y tipo de encoder, además presenta un grupo de pestañas en las que se ajustan otras opciones como: valores nominales de par, corriente y tensión, velocidad y aceleración y tipo de acople al mecanismo de accionamiento.

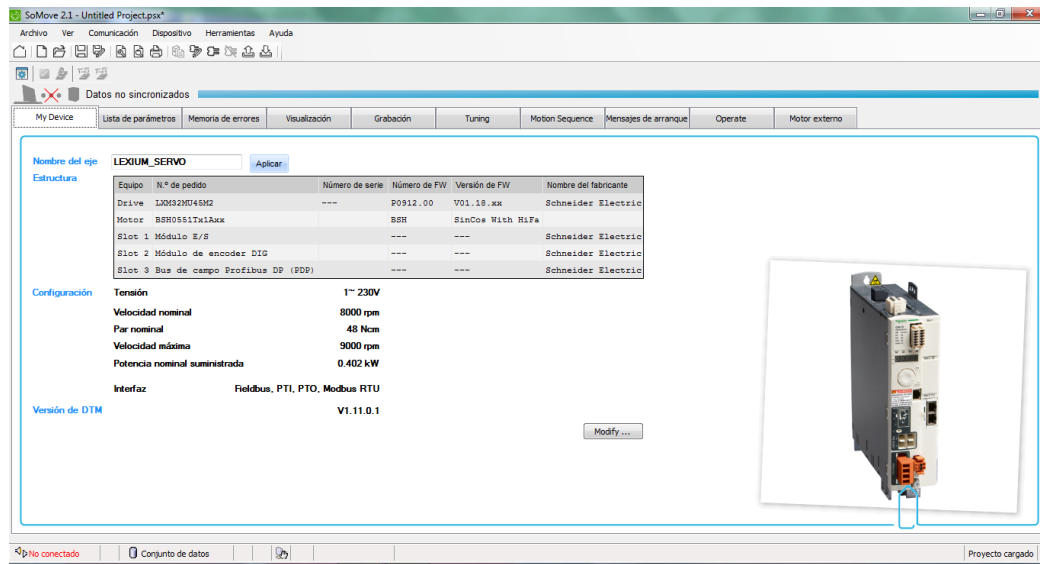


Figura 2.11: Ventana de configuración del servo-controlador.

2.3.2. Propuesta de botonera para el control (ver Figura 2.12).

Se propone para facilitar la operación y control de la máquina, a partir de sus principales funciones.

- Botón (Tipo seta) de parada general rojo: Al utilizar el botón de parada de emergencia, se desconectará la corriente principal y el aire comprimido de la máquina. En otras palabras, la máquina se quedará sin energía. Cuando el pulsador se haya desbloqueado, se podrá volver a arrancar la máquina.
- Pulsador blanco de arrancar: se utilizará para poner en marcha la máquina. Dependiendo del interruptor selector [Automático / Manual], la producción se iniciará de manera continua o la máquina se podrá manejar manualmente.
- Pulsador negro de parada: presionar el botón detendrá los movimientos de la máquina.
- Interruptor selector (Automático / Manual): Con ayuda del interruptor selector se puede cambiar entre que la producción funcione automáticamente o que lo haga manualmente a una velocidad más baja. La producción manual funcionará durante el tiempo en que se mantenga pulsado el botón de arrancar.



Figura 2.12: Botonera principal.

2.3.3. Propuesta de torre de señalización lumínica.

Con la utilización de la torre lumínica (ver Figura 2.13), conocer el estado de la máquina se hace sencillo, cada indicador proporcionará un estado específico de la máquina.

- Indicador de Alarmas de riesgo y seguridad (Rojo): El Piloto parpadea en rojo cuando una alarma está activa, se ilumina fijo cuando la máquina esta parada y no hay ninguna alarma activa.
- Indicador de Mensajes (Verde): El Piloto se ilumina cuando la máquina está trabajando sin fallos en modo automático.



Figura 2.13: Torre de señalización.

2.3.3. Propuesta de mando a distancia.

Con la utilización de un mando a distancia (ver Figura 2.14) se le facilitará el mantenimiento de la máquina, con este, el operario puede hacerla funcionar paso a paso desde cualquier lugar alrededor de ella, permitiéndole observar cada movimiento desde cualquier ángulo.



Figura 2.14: Mando a distancia.

2.3.4. Propuesta de otros sensores.

Sensor Fotoeléctrico de proximidad – conteo de cajas y nivel de celofán

Entre las propuestas se encuentra la de un mecanismo para la detección y conteo de cajas terminadas a la salida de la máquina, esto ayudará al control y contabilidad de los productos terminados, para así contar con una estadística diaria e histórica de la producción de la máquina. También se propone un sensor de este mismo tipo que será utilizado en la medición del nivel de celofán, este dará un aviso cuando sea requerido un cambio de bobina. Para ello se seleccionó del fabricante SICK el modelo WT150-P460 (ver Figura 2.15) cuyos datos técnicos se encuentran en el Anexo 15.



Figura 2.15: Sensor fotoeléctrico.

Encoder incremental

Para lograr el control automático de la máquina a través de un PLC y la eliminación de algunas levas como la que acciona el cilindro neumático del corte de inserción en la cinta de desgarre, la que acciona los cilindros neumáticos de los selladores laterales y la que define un ciclo completo de la máquina, para esto es necesario una realimentación, un mecanismo que nos brinde la información del estado en que se encuentra la máquina o en otras palabras en qué posición se encuentra el eje del árbol de levas, cuántos grados ha girado, para así conocer en que instante de tiempo es que se debe accionar cada mecanismo, logrando un funcionamiento fluido y que no interfieran entre sí. Se acordó seleccionar el encoder incremental de fabricante Sick, modelo *DFS60B-S4MA10000* (ver Figura 2.16.) para acceder a sus datos técnicos ver Anexo 16.



Figura 2.16: Encoder incremental.

Programa SOPAS Engineering Tool V3.

La configuración del Encoder se realizó mediante el Programa SOPAS Engineering Tool V3 SICK, proporcionado por el mismo fabricante del encoder. Esta herramienta permite configurar otros dispositivos tales como: codificadores absolutos, analizadores de gas, codificadores de cableado, analizadores de gases extractivos, escáneres de código de barras, codificadores incrementales, sensores de distancia de largo alcance, dispositivos de medición de polvo de dispersión, dispositivos de medición de volumen de flujo, Sensores LiDAR 2D, sensores 3D LiDAR, sensores de medición de desplazamiento, sensores de medición lineales, sensores de deslumbramiento, dispositivos de medición de polvo de transmisión, RFID, dispositivos de medición de velocidad de flujo, sensores de túnel, dispositivos visuales de medición de alcance , sensores fotoeléctricos miniatura, sensores fotoeléctricos pequeños, sensores fotoeléctricos compactos, Redes de luz de automatización de medición, Sensores de patrón, Visión 3D, sensores fotoeléctricos MultiTask y detectores y sensores de inclinación.

En este programa se parametrizó el encoder incremental, el cual tiene una resolución de 10000 ppr (pulsos por revolución), se configuró a 7200 ppr, esto es necesario hacerlo porque el PLC tiene que ser capaz de leer el encoder a una frecuencia adecuada, en este caso los cálculos realizados a 7200 ppr dan una frecuencia de 163,9 KHz la cual es la adecuada para el PLC que es capaz de leer hasta 200 KHz. Este cálculo se realizó utilizando (8).

Cálculos realizados:

Resolución del encoder: 10000 ppr

Velocidad de giro del motor: 1360 rpm

Motor

1360 rpm – 60 seg

1 rpm – X seg

X=0,044 seg

Encoder:

Tp=0,044 seg/7200 ppr

Tp=0,0061 mseg

Entrada de la señal al PLC:

$$f = \text{rpm} / T_p \quad (8)$$

$$f = 1/0,0061 \text{ ms} = 163,9 \text{ KHz}$$

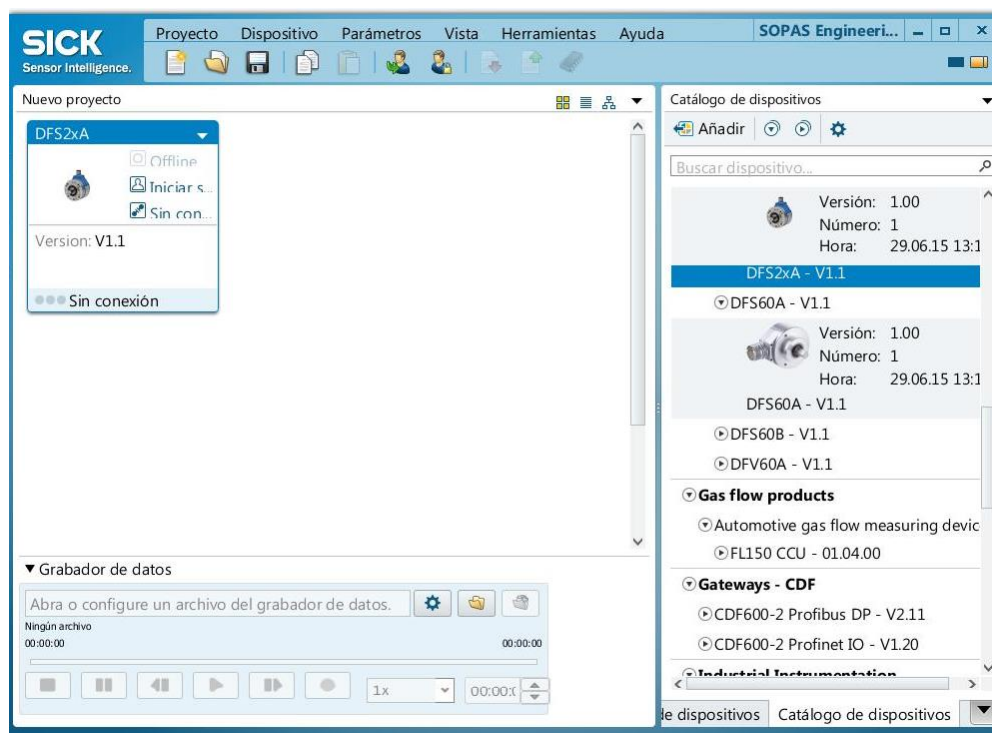


Figura 2.17: Ventana principal del Programa SOPAS Engineering.

Sistema para el suministro de aire a presión (ver Figura 2.18).

La nueva propuesta para el sistema de suministro de aire permite un mejor control de la presión debido a la moderna instrumentación y la posibilidad del envío de la información al PLC donde esta variable será monitorizada y ante cualquier anomalía, detendrá el funcionamiento y notificará al operario.



Figura 2.18: Sistema para el suministro de aire.

1. Válvula de cierre: Fabricante Festo. Modelo MS4-EM1-1/4-S. (Anexo 17.1)
2. Unidad de filtro y regulador: Fabricante Festo. Modelo MS4-LFR-1/4-D7-ERM-AS. (Anexo 17.2)
3. Válvula de cierre: Fabricante Festo. Modelo MS4-EE-1/4-10V24-S. (Anexo 17.3)
4. Válvula de arranque progresivo: Fabricante Festo. Modelo MS4-DL-1/4. (Anexo 17.4)
5. Módulo de derivación: Fabricante Festo. Modelo MS4-FRM-1/4-AD7. (Anexo 17.5)

2.3.5. Propuesta para el control de la máquina.

Para la selección del tipo de controlador a utilizar se evaluó la cantidad de variables que intervienen en el proceso, la eventualidad futura de ejecutar otras tareas vinculadas al sistema que precise posibles expansiones, entre otros aspectos, finalmente se seleccionó un Controlador Lógico Programable o PLC debido a las ventajas que este brinda para un control eficaz del proceso.

Un PLC es un equipo electrónico de control con un cableado interno independiente del proceso a controlar, que se acomoda a dicho proceso mediante un programa específico que contiene la secuencia de operaciones a realizar. Esta secuencia de operaciones se define sobre señales de entrada y salida al proceso, cableadas directamente en los bornes

de conexión del Autómata [16].

También se entiende por PLC, a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en un medio industrial y en tiempo real, procesos secuenciales y continuos.

Entre las ventajas que tiene la utilización de un PLC se destacan las siguientes:

- Cualquier variación en el proceso no supondrá una modificación física en las conexiones, sino que, en la mayoría de los casos, sólo será necesario modificar el programa. Esto supone también disminuir proveedores y materiales de repuesto.
- Su fiabilidad, es uno de los aspectos clave, ya que al eliminar el cableado se eliminan también puntos potenciales de avería o mal funcionamiento.
- Está diseñado para múltiples entradas y salidas, así como para soportar condiciones severas (como el polvo, la humedad, calor, frío, etc.).
- Es inmune al ruido eléctrico.
- Es resistente a la vibración y el impacto.
- Otro factor importante es el considerable ahorro de espacio.

La estrategia de control a utilizar es un control lógico secuencial, pues de esta forma se garantiza un funcionamiento adecuado del proceso y se cumple con los requerimientos del sistema. Los controladores secuenciales, como su nombre lo indica, siguen una secuencia de forma tal que no pueden activar un comportamiento hasta que el comportamiento anterior en la secuencia haya finalizado. La característica fundamental de estos sistemas automáticos que trabajan con lógica secuencial, y que los diferencia de la lógica combinacional, es que sus salidas no dependen solamente del estado actual de las entradas sino también de los estados anteriores por los que transita [17].

2.4. Selección del autómata.

El diseño de automatización del proceso urge del uso de un PLC que lleve a cabo la recolección de toda la información que llega de los diferentes sensores, actuar sobre las variables manipuladas, detectar estados de alarmas, ejecutar las instrucciones lógicas secuenciales de arranque, parada y estado de emergencia y transmitir toda la información del proceso a través de una red; para de esta manera poder efectuar su supervisión.

Entre los disímiles productores de autómatas Siemens ha desplegado una serie de familias

de productos que se incluyen dentro de la denominación SIMATIC. Una de estas familias de productos está compuesta por los autómatas SIMATIC S7.

Para la selección se tuvo en cuenta varios factores como: funcionalidad, eficiencia, facilidades, costo, entre otros. Se llegó a la conclusión de que sería más factible la serie de controladores SIMATIC S7-1500, esta serie de controladores constituyen la nueva generación de controladores de TIA Portal y de automatización. SIMATIC S7-1500 asegura el más alto nivel de eficiencia y de usabilidad para aplicaciones de rango medio y alto en máquinas y sistemas de automatización.

2.4.1. Arquitectura del SIMATIC S7-1500.



Figura 2.19: Familia de PLC de Simatic S7-1500.

Estos controladores integran [18]:

- *Display* para puesta en marcha y diagnóstico, el que permite diagnosticar tanto el funcionamiento de la CPU como de sus módulos. El *Display* puede acoplarse y desacoplarse de la CPU durante su funcionamiento. Protección posible con *password* vía TIA Portal. Ciclo de vida mayor, de 50.000 horas de operación.
- Interfaz PROFINET integrada en cada CPU, lo que le asegura tiempos de respuesta y alta precisión en el comportamiento de la máquina. Web Server integrado para la visualización de información de servicio y diagnóstico.
- Concepto de memoria innovada. Suficiente memoria para cada aplicación. Capacidad hasta 2 GB para datos de proyecto, archivos, recetas y documentos.
- Concepto de diagnóstico optimizado. Eficiente análisis de fallo desde *Display*, *Web Sever*, STEP 7 o HMI. Imposible pérdida de mensajes de error, incluso

estando la CPU apagada.

- Tecnología integrada. *Motion Control* con conexión rápida a los accionamientos PROFIdrive. TRACE, grabación de hasta 16 variables para una optimización precisa de los programas de control y accionamientos. PID integrado para tareas de lazo cerrado, ahorros de tiempo.

Tipos de CPUs [19]

1. Estándares: Las CPUs estándares se caracterizan por su total modularidad.
2. Compactas: Los dos nuevos controladores SIMATIC integran entradas / salidas en el mismo bloque que la CPU.
3. De Seguridad: Las CPUs de Seguridad SIMATIC S7-1500F, son idóneas para aquellas aplicaciones de seguridad y estándar en las que se requiere gran memoria de datos y programa.
4. SIPLUS: constituye la última generación de controladores en incorporarse a TIA Portal. Es el último para tareas de automatización en condiciones extremas.

Se escogió una CPU para aplicaciones con requisitos medios en cuanto a memoria de programa y memoria de datos, de la familia de CPU estándares. Con una velocidad de procesamiento entre media y alta, con aritmética binaria y en coma flotante. Que contara con funciones de control de movimiento integradas, para controlar ejes de velocidad y ejes de posicionamiento; con compatibilidad con encoders externos, levass/perfiles de levass y detectores.

2.4.2. CPU 1513-1-PN [20]



Figura 2.20: CPU 1513-1-PN

Datos técnicos:

- Posee pantalla de visualización (Display).
- Memoria de trabajo 300 KB para código y 1.5 MB para datos
- Tiempo de operación con bits 40 ns.
- Posee 2048, contadores, temporizadores y su remanencia.
- Concepto de protección de 4 niveles.
- Funciones tecnológicas integradas: movimiento, regulación, contaje y medición.
- Trace integrado.
- Soporta RT/IRT.
- 2 puertos, MRP.
- Protocolo de transporte TCP/IP.
- Expansibilidad flexible, configuración en una fila con máximo 32 módulos (CPU + 31 módulos).
- Interfaz PROFINET IO IRT para conectar la periferia descentralizada a través de PROFINET.
- Entradas 32kbyte; Todas las entradas están en la imagen del proceso.
- Salidas 32kbyte; Todas las entradas están en la imagen del proceso.
- Se pueden conectar como máximo, 128 dispositivos de IO en total, se puede conectar mediante CP/CM un máximo de 256 unidades periféricas descentralizadas vía PROFIBUS o PROFINET.

2.4.3. Módulos de expansión necesarios:

2.4.3.1. Fuente de alimentación.

Es necesario un módulo de alimentación, en este caso la fuente de 25W es la encargada de alimentar el PLC y suministrar la potencia requerida para todos los dispositivos de campo que van a ser conectados a este, todos los componentes eléctricos del panel y que permita la conexión de nuevos dispositivos en caso de futuras expansiones.



Figura 2.21: Fuente de alimentación (PS 25W 24V DC).

Fuente de alimentación del sistema 25W, 24V DC, suministra tensión de servicio al bus de fondo del S7-1500.

2.4.3.2. Módulo de conteo.

El módulo de tecnología "TM Count 2x24V" para S7-1500 y ET 200MP se utiliza en particular para la captura de señales digitales rápidas. Puede contar señales, capturar frecuencias y velocidades, así como duraciones de períodos cortos. En esta aplicación, este módulo es necesario para la lectura del encoder.



Figura 2.22: Módulo Contador.

Datos Técnicos:

- Medida de frecuencia, 0.04Hz mínimo
- Medida de periodo, 1.25 μ s mínimo
- Medida de frecuencia, 800kHz máximo
- Número de comparadores, 2 por canal.
- Medida de periodo, 25s máximo
- Frecuencia de entrada, 200kHz máximo
- Simatic S7-1500, TM COUNT 2X24V Tarjeta de Contadores.
- 2 Canales 24V para encoder incremental o emisor de impulsos.
- 3 Entradas digitales.

- 2 Salidas digitales por canal.

2.4.3.3. Módulo de Entradas Analógicas.

Se utilizó un módulo de entradas analógicas para la conexión de las termoresistencias al PLC, la lectura se realiza en un rango de 4 a 20mA.



Figura 2.23: Módulo de Entradas Analógicas.

Datos Técnicos:

- Simatic S7-1500, Módulo de Entradas Analógicas AI 8 X U/I/RTD/TC ST.
- 16 bits de resolución.
- Precisión 0.3 %.
- 8 Canales en grupos de 8.
- 4 Canales para mediciones de RTD.
- Modo común, tensión 10V.
- Protección en Bornes y Terminales.
- Frecuencia de entrada, 200kHz máximo

2.4.3.4. Módulo de Salidas Analógicas.

Se utilizó un módulo de salidas analógicas para la conexión del variador de frecuencias al PLC, desde el mismo se controla el variador con una señal de 4-20mA, para establecer la velocidad del motor principal deseada.



Figura 2.24: Módulo de Salidas Analógicas.

Datos Técnicos:

- Simatic S7-1500, Módulo de Salidas Analógicas AO 2 X U/I ST.
- 16 bits de resolución.
- Precisión 0.3 %.
- 2 Canales en grupos de 2.
- Diagnóstico, valor de sustitución.
- Conector frontal PUSH-IN.
- 2 salidas analógicas, ± 10 V, 1 ... 5 V, 0 ... 10 V o ± 20 mA, 0/4 ... 20 mA.

2.4.3.5. Módulo de Entradas Digitales.

Se utilizó un módulo de entradas digitales para la conexión de los sensores al PLC, recoger la lectura de estos y utilizarlos en la lógica de programación para ejecutar las acciones correctas.



Figura 2.25: Módulo de Entradas Digitales.

Datos Técnicos:

- Simatic S7-1500, Módulo de Entradas Digitales DI 16x24V DC.
- 16 entradas, con aislamiento galvánico, diagnóstico parametrizable y alarmas de proceso.
- 16 entradas en grupos de 16, de ellas, los canales 0 y 1 opcionalmente con función de conteo.
- Tensión nominal de entrada 24 V DC.
- Retardo a la entrada parametrizable: 0,05 ms ... 20 ms.
- Diagnóstico parametrizable (por canal).
- Alarma de proceso parametrizable (por canal).
- Adecuado para interruptores y detectores de proximidad a 2, 3 ó 4 hilos.

2.4.3.6. Módulo de Salidas Digitales.

Se utilizó un módulo de salidas digitales para la conexión del PLC con los actuadores, dígame electroválvulas de los selladores, controlador y resistencias de los selladores.



Figura 2.26: Módulo de 16 Salidas Digitales.

Datos Técnicos:

- Simatic S7-1500, Módulo de Salidas Digitales DQ 16X24V DC / 0,5A.
- 16 canales en grupos de 8, 4A por grupo.
- Incluye conector frontal PUSH-IN.
- 16 salidas, 24 V DC.
- 0,5 A, con aislamiento galvánico.
- Sin parámetros ni funciones de diagnóstico.
- Conector frontal (bornes de inserción rápida).

2.4.3.7. Módulo de Entradas y Salidas Digitales.

SIMATIC S7-1500, Módulo de Entradas y Salidas digitales 24V DC. Se utilizó un módulo de entradas y salidas digitales para la conexión de las salidas del PLC hacia el mando a distancia, indicador lumínico y otras como el reset de la seguridad de las puertas y la válvula del cilindro del corte de incisión, se dejaron 8 entradas de reserva ya cableadas para la conexión de nuevos sensores en caso de futuras expansiones.



Figura 2.27: Módulo de Entradas y Salidas Digitales.

Datos Técnicos:

- Entradas digitales
 - ✓ 16 entradas digitales, aislados eléctricamente en grupos de 16.
 - ✓ Retardo de las entradas 3,2ms.
 - ✓ Tensión nominal de entrada 24 VDC.
 - ✓ Apto para interruptores y 2-/3-/4-interruptores de proximidad.
- Salidas digitales
 - ✓ 16 salidas digitales, aisladas eléctricamente en grupos de 8.
 - ✓ Tensión nominal de salida 24 VDC.
 - ✓ Corriente de salida nominal 0.5 A por canal.
 - ✓ Incluye conector frontal PUSH-IN.
 - ✓ Apropiado para válvulas de solenoide, contactores de CC y luces indicadoras.

2.5. Selección de la interfaz de comunicación con el operario.

De la misma manera se propone incluir una pantalla táctil HMI (ver Figura 2.28) para la comunicación del operario con la máquina, facilitándole a este realizar cambios de configuración con extrema sencillez, además de una panorámica de los sucesos que estén

ocurriendo en tiempo real en la máquina, brindándole información de utilidad sobre el proceso.

Se seleccionó una pantalla teniendo en cuenta el tamaño adecuado para una perfecta visualización y que tenga las siguientes características básicas [19]:

- Pantalla brillante en formato panorámico.
- Funcionalidad puntera del modelo: ficheros, scripts en VB y diferentes visores para visualizar la documentación de la instalación, por ejemplo: en forma de PDF o páginas web, de serie.
- Máxima seguridad de datos.
- Puesta en servicio sencilla, mantenimiento rápido
- Diagnóstico de sistema integrado
- Uso independiente del sector o de la región
- Varias interfaces para la comunicación al proceso
- Switch PROFINET integrado.

Además de una gestión energética eficiente, puesto que el protocolo estandarizado PROFIenergy permite desconectar de modo coordinado y centralizado los consumidores de energía no requeridos. Máxima seguridad de los datos en caso de cortes de corriente ya que almacenan de manera intermedia suficiente energía para poder finalizar correctamente todos los ficheros activos y hacer una copia de seguridad de los datos archivados en formato RDB. De este modo, se garantiza el mantenimiento de todos los datos en el fichero de modo económico y sin necesidad de una batería de mantenimiento intensivo. Idónea para entornos rudos.



Figura 2.28: Pantalla HMI de Siemens, modelo TP700.



Datos Técnicos:

- Fabricante: Siemens
- Modelo TP700
- Tamaño de 7,0" TFT
- Resolución 800 x 480 píxeles, colores 16M
- Comunicación 1 x MPI/PROFIBUS DP, 1 x interfaz PROFINET/Industrial Ethernet con soporte para MRP y RT/IRT (2 puertos), 2 x slots para tarjetas multimedia; 3 x USB.

2.6. Conclusiones.

En el capítulo se realiza un análisis de la instrumentación actual de la máquina encelofanadora Sollas 20, a la misma vez se hace la propuesta de la nueva instrumentación para el proceso que posibilita el diseño de automatización de la máquina. La incorporación de nuevos instrumentos de medición facilita conocer el comportamiento de las variables, así como la indicación y activación de los estados de alarma. Los instrumentos que se proponen en el proceso presentan un gran reconocimiento internacional respecto a su calidad y confiabilidad.