

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

OPTIMIZACION BOBINADORA “FOCUS” DE PAPEL TISSUE

Trabajo de Titulación para optar al título
de Ingeniero (E) en Control e
Instrumentación Industrial

Alumnos:

Giliana Soledad Macaya Parra

Rodrigo Alejandro Andrés Valdés Mena

Profesor guía:

Sr. Ricardo Ignacio Vera González

DEDICATORIA

...A nuestras familias,
Por su apoyo incondicional...

RESUMEN

Actualmente la máquina Bobinadora de papel Tissue es un equipo crítico, en el cual aún existen una gran cantidad de horas improductivas que se deben comenzar a reducir.

El propósito de este trabajo, es analizar la causa raíz de las principales fallas en los equipos y lograr proponer soluciones factibles considerando la forma de reducir costos en implementación.

Se analizarán las dos principales fallas, las cuales corresponden a las siguientes:

- Pérdida de NIP en los desenrolladores
- Destrucción del rodillo prensa

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 : ASPECTOS GENERALES	2
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 MARCO TEORICO	5
1.3.1 Proceso.....	5
1.3.2 Falla	5
1.3.2.1 Falla parcial.....	5
1.3.2.2 Falla intermitente	5
1.3.2.3 Falla total	5
1.3.2.4 Falla catastrófica	6
1.3.2.5 Falla de apariencia	6
1.3.3 Solución de problemas.....	6
1.3.4 PLC	6
1.3.5 VDF (Variador de frecuencia)	6
1.3.6 Sensor.....	7
1.3.7 Motor eléctrico.....	7
1.3.7.1 Motor jaula de ardilla.....	7
1.3.7.2 Servomotor.....	7
1.3.7.3 Motor de imanes permanentes	8
1.3.8 HMI (“Human Machine Interface”)	8
1.3.9 ETHERNET.....	9
1.3.10 PROFINET	10
1.3.10.1 Servicios de comunicación PROFINET	10
1.3.10.2 Protocolos PROFINET	12
1.3.11 Operador de producción (operador).....	12
1.3.12 Técnico de mantenimiento.....	12
1.3.13 Técnico especializado	13
1.3.14 Técnico del fabricante.....	13
1.3.15 Lado operador (l.o.)	13
1.3.16 Lado transmisión (l.t.).....	13
1.3.17 Mandril bobinador	13
1.3.18 Bobinadora.....	13
1.3.19 Bobina “jumbo”	14
1.3.20 Capa	14
1.4 DESCRIPCION DEL PROCESO	15
1.4.1 Módulos desbobinadores tipo ddr.....	16
1.4.2 Grupo de corte longitudinal (Acción tangencial con cuchillas y contracuchillas).....	19
1.4.3 Módulo Rebobinador	20
CAPÍTULO 2 : PROBLEMÁTICA EN DESBOBINADORES	21

2.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA EN DESBOBINADOR.....	22
2.2 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LOS DESENROLLADORES.....	26
2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	28
2.3.1 Celda de carga.....	28
2.3.2 Amplificador de peso.....	31
2.3.3 PLC	32
2.3.4 Módulo Análogo Output.....	33
2.3.5 Servoaccionamiento.....	34
2.3.6 Motor	38
CAPÍTULO 3 : PROBLEMÁTICA EN REBOBINADORA.....	43
3.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA REBOBINADOR	44
3.2 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LA REBOBINADORA	50
3.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS	54
3.3.1 Sensor fotoeléctrico	54
3.3.2 Módulo Digital Input	57
CAPÍTULO 4 : CONCLUSIÓN	58
4.1 CONCLUSIÓN	59
4.2 BIBLIOGRAFÍA.....	60
CAPÍTULO 5 : ANEXOS.....	61
5.1 DESARROLLO ECONÓMICO	62
5.1.1 Desarrollo económico de los equipos.	62
5.1.2 Desarrollo estudio producción de papel en bobinadora.....	63
5.1.3 Horas de producción.	64
5.1.4 Horas improductivas.....	64
5.1.5 Valorización del papel en bobinadora y tiempos improductivos.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Representación Ethernet en tiempo real.....	11
Figura 1-2: Representación Ethernet en tiempo real Isocrónico	11
Figura 1-3: Carro porta mandril	16
Figura 1-4: Cilindro neumático sin vástago	16
Figura 1-5: Válvula reguladora proporcional Festo	17
Figura 1-6: Mecanismo de inmovilización del mandril	17
Figura 2-1: Lazo cerrado funcionamiento válvula proporcional.....	22
Figura 2-2: Indicación de presión ideal en el sistema	23
Figura 2-3: Vista lateral con presión del sistema óptima.....	23
Figura 2-4: Sobrepresión en zona del cilindro	24
Figura 2-5: Vista lateral con sobrepresión en el sistema.....	25
Figura 2-6: Representación NIP crítico	25
Figura 2-7: Indicación posición celda de carga.....	26
Figura 2-8: Implementación nuevo sistema para control de NIP en desbobinadores	27
Figura 2-9: Representación celda de carga	28
Figura 2-10: Celda de carga Wika	29
Figura 2-11: Amplificador de peso TLB.....	31
Figura 2-12: PLC Siemens S7-1200	32
Figura 2-13: Modulo análogo output	33
Figura 2-14: Servoaccionamiento Siemens V90.....	34
Figura 2-15: Ejemplo configuración para servoaccionamiento Siemens V90.....	35
Figura 2-16: Representación motor de imanes permanentes	39
Figura 2-17: Motor de imanes permanentes Siemens 1FK7060-2AC71-1KH0.....	40
Figura 3-1: Posición de trabajo rodillo prensa	44
Figura 3-2: Grafico de comportamiento fibra de carbono	46
Figura 3-3: Funcionamiento normal del sistema en rebobinadora.....	47
Figura 3-4: Indicación de papel desmantado no contabilizado	47
Figura 3-5: Indicación de contacto crítico entre bobina y rodillo prensa	48
Figura 3-6: Imagen destrucción rodillo prensa	49
Figura 3-7: Diagrama de flujo para solución en rebobinadora	51
Figura 3-8: Posicionamiento sensor y reflectante	52
Figura 3-9: Sensor fotoeléctrico Telemecanique XUK9LAPSM12.....	54
Figura 3-10: Reflectante Telemecanique XUK1111.....	55
Figura 3-11: Soporte sensor fotoeléctrico	55
Figura 3-12: Conector hembra sensor M12, 4 pines.	56
Figura 3-13: Modulo Siemens digital input	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Tipos de Ethernet y sus características 9

Tabla 3-1: Propiedades fibra de carbono y su estatus 46

Tabla 5-1: Valorización elementos de la solución en desbobinadores 62

Tabla 5-2: Valorización elementos de la solución en la rebobinadora 62

Tabla 5-3: Valorización de ambas soluciones.....63

Tabla 5-4: Producción histórica Bobinadora.....63

Tabla 5-5: Producción histórica Bobinadora en porcentaje 64

Tabla 5-6: Horas de producción históricas.....64

Tabla 5-7: Valorización producción histórica.....65

Tabla 5-8: Cantidad de cortes de hoja.....66

Tabla 5-9: Cantidad de veces destrucción rodillo prensa.....66

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de título busca realizar la optimización de una bobinadora de papel Tissue, para obtener una producción mayormente continua y basada en la seguridad de los trabajadores.

La bobinadora “Focus” desarrolla diversos tipos de formato al papel Tissue, de acuerdo a las solicitudes del cliente. Esta máquina cuenta con la última tecnología en sistemas de control y destaca por la precisión de sus equipos, utilizando principalmente servomotores en su accionamiento. Consta de 3 etapas; desenrollado, grupo de corte y rebobinado. La materia prima la entrega una máquina papelera con un jumbo de 5 metros de largo, el cual se posiciona en los desenrolladores, pasando consecutivamente por unos cuchillos que dan el formato a la bobina. El proceso de formación se logra con dos rodillos paralelos en forma horizontal, entre estos, se posiciona una barra que descansa sujeta por dos cabezales, para evitar la fuerza centrípeta se utiliza un rodillo prensa que genera presión sobre el rollo. El proceso finaliza entregando el producto al sistema de embalaje.

A pesar que el sistema es de última tecnología, existen dos grandes problemas que afectan a la productividad de la máquina; pérdida de control entre el Jumbo y el desenrollador y, falla de Nip entre rodillo prensa y bobina en formación.

En el presente trabajo se centrará en buscar solución a las problemáticas que aporten mejoras en el proceso industrial, utilizando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial.

CAPÍTULO 1 : ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La máquina bobinadora actualmente consta de dos grandes problemas, los cuales provocan un mayor tiempo de improductividad.

Los Jumbos provenientes de la Máquina Tissue que pasan a la bobinadora no son completamente homogéneos, ya que, al estar en reposo para ser consumido por la bobinadora el peso de este genera la deformación y al momento de comenzar el proceso de desbobinado, es complicado mantener el contacto lineal durante todo el proceso con el sistema neumático actual. Esto provoca problemas en la bobina en formación como: cortaduras, formación durante el proceso y pérdida de propiedades del papel como; espesor, gramaje, humedad, resistencia, absorción, etc.

Posteriormente existen motivos de cortadura en el rebobinado del papel, lo cual, obliga al operador realizar movimientos de los equipos en forma manual, siendo afectado el proceso de forma continua. Al solucionar este problema y reiniciar el ciclo de trabajo, no existe ningún sistema de seguridad para evitar el exceso de carga entre el rodillo formador y la bobina en creación, teniendo como consecuencia eventualmente la rotura de este.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Reducir tiempos improductivos en Máquina Bobinadora

1.2.2 Objetivos específicos

- Optimización de sistema de desenrollado de papel Tissue.
- Desarrollar mejora en el sistema de seguridad del rodillo formador en la zona de rebobinado.

1.3 MARCO TEORICO

1.3.1 Proceso

Operación o desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden de una u otra forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinado; o una operación artificial o voluntaria progresiva que consiste en una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. En este trabajo llamaremos proceso a cualquier operación que se va a controlar.

1.3.2 Falla

Estado presente o característico de un proceso capaz de ocasionar; interrupciones permanentes, totales o parciales.

Causa u evento que lleva a la finalización de la capacidad de un equipo para realizar su función adecuadamente o para dejar de realizarla en su totalidad. Un elemento sujeto a una falla muestra propiedades que cambian gradualmente de un valor inicial a un límite fatal.

1.3.2.1 Falla parcial

Es aquella que se puede interpretar de dos formas diferentes, pero no excluyentes. Se puede decir que una “Falla parcial” es aquella que disminuye la capacidad de producción de una máquina “pero no la detiene”, también puede ser que no disminuya la capacidad de producción, pero si la confiabilidad.

1.3.2.2 Falla intermitente

Es una falla parcial que se presentan bajo determinadas condiciones de trabajo, sobre todo en sobrecarga. Estas fallas persisten durante el tiempo que dure la situación irregular y desaparecen al ya no existir estas.

1.3.2.3 Falla total

Son aquellas que interrumpen totalmente la función de un equipo y lo obliga a una reparación.

1.3.2.4 Falla catastrófica

Interrumpe totalmente la capacidad de producción del equipo, pero su diferencia con la “falla total” se repara en un tiempo razonable normal y el dinero requerido está dentro de los rangos presupuestarios de la empresa, en cambio la catastrófica puede tardarse mayor tiempo en corregirla o el dinero necesario para ello está fuera de alcance en un corto y mediano plazo para la empresa.

1.3.2.5 Falla de apariencia

Son las que no tienen relación con el funcionamiento de los sistemas, pero que si evalúan el aspecto exterior de los mismos.

1.3.3 Solución de problemas

Secuencia de actividades que buscan proporcionar una respuesta a partir de una situación compleja.

1.3.4 PLC

Es un Controlador lógico programable. Son dispositivos electrónicos o computadoras digitales programables de tipo industrial que permite la automatización, principalmente de procesos industriales, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones. La NEMA lo define como:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

1.3.5 VDF (Variador de frecuencia)

Sistema utilizado para el control de velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Dispositivo electrónico que permite a partir de una señal alterna de frecuencia fija, obtener en su salida una señal de la misma naturaleza con frecuencia variable.

1.3.6 Sensor

Dispositivo capaz de transformar la detección de magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

1.3.7 Motor eléctrico

Máquina eléctrica rotatoria, capaz de transformar energía eléctrica en mecánica de rotación en un eje. Debido a sus múltiples ventajas como, economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, estos elementos reemplazan gran parte de otras fuentes de energía, utilizándose fuertemente en los accionamientos de diversas máquinas industriales.

1.3.7.1 Motor jaula de ardilla

Motor de inducción de corriente alterna. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o cobre con surcos y conectados en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. Las ranuras del rotor suelen hacerse oblicuas respecto al eje para así evitar puntos muertos en la inducción.

Estos motores trabajan con un arranque muy elevado alrededor de 4 a 7 veces la corriente nominal. Antiguamente la velocidad de este tipo de motores era muy inestable, hoy en día con los variadores de frecuencia se puede conseguir un control perfecto de acuerdo a sus parámetros asignados, logrando una velocidad constante durante todo el proceso.

1.3.7.2 Servomotor

Dispositivo electromecánico compuesto por un motor eléctrico, un juego de engranajes y una tarjeta de control, todo dentro de una carcasa de plástico. Un servo tiene la capacidad de controlar posiciones de un equipo específico, en un rango de operación de 180° pero puede ser fácilmente modificado a 360°. Se utilizan principalmente debido a su gran precisión.

1.3.7.3 Motor de imanes permanentes

Desarrollo innovador que combina la alta precisión de un servomotor y lo robusto de un motor de inducción asíncrono. Es capaz de entregar un elevado torque en un motor de pequeño tamaño a baja velocidad.

Los imanes permanentes son materiales que poseen una gran capacidad de almacenamiento de energía magnética que perdura en el tiempo, y su degradación es despreciable. Estos crean un flujo constante en el entrehierro, eliminando la necesidad de un rotor y escobillas utilizadas para la excitación de los motores síncronos. Se energizan directamente en el estator mediante un variador de frecuencia.

1.3.8 HMI (“Human Machine Interface”)

“Interfaz Hombre Máquina” Equipo que permite al usuario visualizar y modificar valores sobre el sistema a controlar.

1.3.9 ETHERNET

Protocolo de comunicación basado en el estándar IEEE 802.3 define un modelo de red de área local utilizando el protocolo de acceso al medio CSMA/CD (acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones), las estaciones están permanentemente a la escucha del canal y cuando lo encuentran libre de señal efectúan sus transmisiones inmediatamente. Esto puede llevar a una colisión que hará que las estaciones suspendan sus transmisiones, esperen un tiempo aleatorio y vuelvan a intentarlo.

Este método de comunicación se denomina no determinista, es decir, no se puede predecir cuál estación transmitirá y cuándo transmitirá. No obstante, cada estación en algún punto en el tiempo tendrá la oportunidad de transmitir. La ventaja de este sistema es que se ejecuta a sí mismo sin requerir ninguna administración.

Actualmente, esta tecnología permite alcanzar velocidades hasta 1.000Mbps/s, y distancias hasta 10Km gracias a la utilización de fibra de vidrio.

Variedades de red Ethernet					
Tipo	Medio	Ancho de banda máximo	Longitud máxima de segmento	Topología Física	Topología Lógica
10Base5	Coaxial grueso	10 Mbps	500 m	Bus	Bus
10Base-T	UTP Cat 5	10 Mbps	100 m	Estrella; Estrella Extendida	Bus
10Base-FL	Fibra óptica multimodo	10 Mbps	2.000 m	Estrella	Bus
100Base-TX	UPT Cat 5	100 Mbps	100 m	Estrella	Bus
100Base-FX	Fibra óptica multimodo	100 Mbps	2.000 m	Estrella	Bus
1000Base-T	UPT Cat 5	1000 Mbps	100 m	Estrella	Bus

Tabla 1-1: Tipos de Ethernet y sus características

1.3.10 PROFINET

Estándar abierto de Ethernet Industrial de la asociación de PROFIBUS según IEC 61784-2 (Communication Profile Family 3 (PROFIBUS & PROFINET) – RTE communication profiles); y uno de los estándares de comunicación más utilizados en redes de automatización.

Está basado en Ethernet Industrial, TCP/IP y algunos estándares de comunicación pertenecientes al mundo Tecnología de la Información. Entre sus características destaca que es Ethernet en tiempo real, donde los dispositivos que se comunican por el bus de campo acuerdan cooperar en el procesamiento de solicitudes que se realizan dentro del bus.

Su conectividad básica, como es el cable Ethernet, y unas tramas de comunicaciones establecidas que correspondería a los niveles 1 y 2 del modelo OSI, PROFINET va incorporando nuevas funcionalidades denominadas “perfiles” de utilidad como ProfiSafe o ProfiEnergy, mediante una interpretación específica para cada caso de los datos transmitidos, modificando el nivel 7 (de aplicación). En el caso de Profisafe, se transmiten datos de seguridad (safety), y en el caso de ProfiEnergy, datos y comandos para el ahorro y control energético.

Ventajas del protocolo:

- Mejora la escalabilidad en las infraestructuras.
- Acceso a los dispositivos de campo a través de la red. PROFINET al ser un protocolo que utiliza Ethernet en su comunicación facilita acceder a dispositivos de campo desde otras redes de una forma más fácil.
- Ejecución de tareas de mantenimiento y prestación de servicio desde cualquier lugar. Es posible acceder a dispositivos de campo mediante conexiones seguras como por ejemplo VPN para realizar mantenimientos remotos.

1.3.10.1 Servicios de comunicación PROFINET

- **Standard TCP/IP:** Este servicio se utiliza para funciones no deterministas, como parametrización, transmisiones de vídeo/audio y transferencia de datos a sistemas TI de nivel superior.
- **Real Time:** Las capas TCP/IP no son utilizadas para dar un rendimiento determinista a las aplicaciones de automatización, funcionando con unos tiempos de retardo en el rango 1-10ms. Este hecho representa una solución basada en software adecuada para aplicaciones típicas de E/S, incluyendo control de movimiento y requisitos de alto rendimiento.

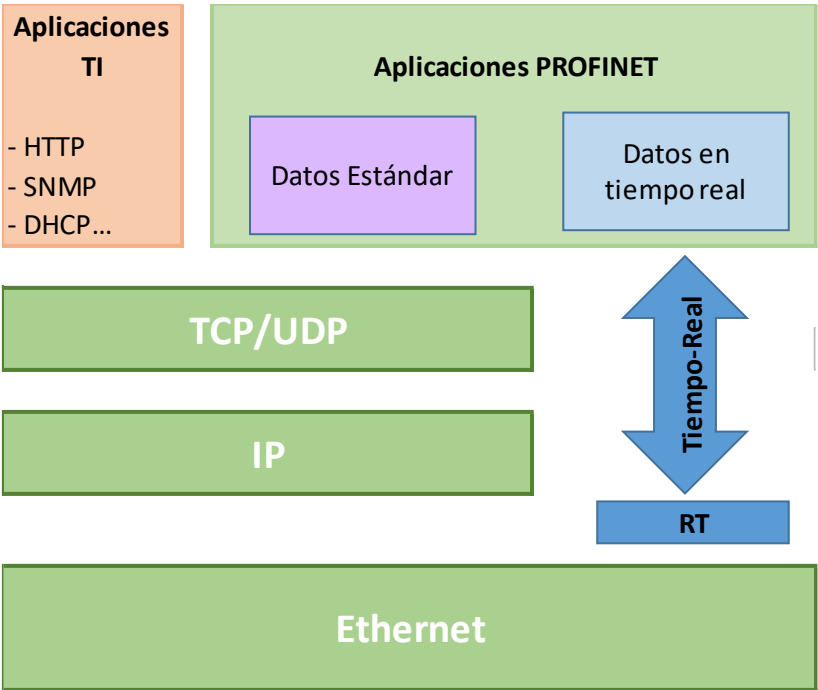


Figura 1-1: Representación Ethernet en tiempo real

- **Isochronous Real Time:** La priorización de señal y la conmutación programada proporcionan una sincronización de alta precisión para aplicaciones como el control de movimiento. Las velocidades de ciclo en rangos de sub-milisegundos son posibles, con jitter (variabilidad temporal durante el envío de señales digitales) en el rango de sub-microsegundos.

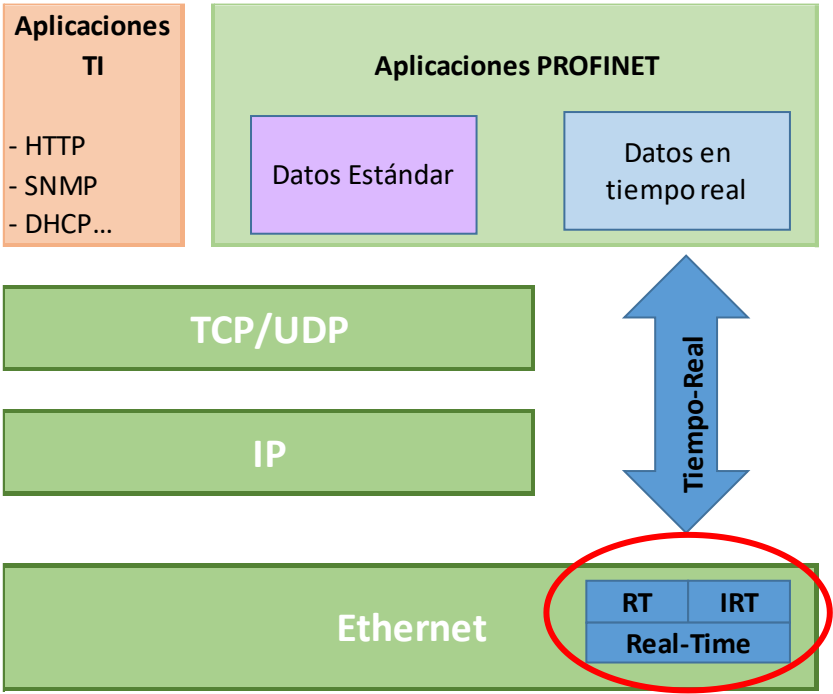


Figura 1-2: Representación Ethernet en tiempo real Isocrónico

1.3.10.2 Protocolos PROFINET

- **PROFINET/CBA:** Protocolo asociado a las aplicaciones de automatización distribuida en entornos industriales.
- **PROFINET/DCP:** Descubrimiento y configuración básica. Es un protocolo basado en la capa de enlace, utilizado para configurar nombres de dispositivos y direcciones IP. Se restringe a una red y se usa principalmente en aplicaciones pequeñas o medianas que no disponen de un servidor DHCP.
- **PROFINET/IO:** A veces llamado PROFINET-RT (RealTime), es utilizado para comunicaciones con periféricas descentralizadas.
- **PROFINET/MRP:** Protocolo utilizado para la redundancia de medios. Utiliza los principios básicos para la reestructuración de las redes en caso de sufrir un fallo cuando la red posee una topología en anillo. Este tipo de protocolo es utilizado en redes en las que la disponibilidad ha de ser máxima.
- **PROFINET/MRRT:** Su objetivo es dar soluciones a la redundancia de medios para PROFINET/RT.
- **PROFINET/PTCP:** Protocolo de Control de Precisión de Tiempo basado en la capa de enlace, para sincronizar señales de reloj/tiempo en varios PLC.
- **PROFINET/RT:** Transferencia de datos en tiempo real.
- **PROFINET/IRT:** Transferencia de datos isócrono en tiempo real.

1.3.11 Operador de producción (operador)

Profesional competente con conocimientos que le permiten realizar trabajos simples como operar la máquina usando sus mandos y cargar/descargar los materiales necesarios para el ciclo operativo siempre con los dispositivos de protección instalados y activados. No está autorizado a realizar trabajos de mantenimiento mecánico ni eléctrico/electrónico.

1.3.12 Técnico de mantenimiento

Profesional que posee una competencia específica y los conocimientos indispensables para realizar, además de los trabajos reservados al “OPERADOR DE PRODUCCIÓN”, los inherentes al mantenimiento de la máquina de acuerdo con las instrucciones oportunamente proporcionadas por Focus S.r.l.

1.3.13 Técnico especializado

Profesional que posee una competencia técnica específica en su sector de especialidad, capaz de evaluar los riesgos y evitar los peligros que los trabajos que se le encomiendan pueden entrañar operando de forma completamente autónoma.

1.3.14 Técnico del fabricante

Profesional altamente competente y experto empleado por Focus S.r.l.

1.3.15 Lado operador (l.o.)

Lado en el que se encuentran los mandos de la máquina y en el que el operador normalmente permanece durante el proceso.

1.3.16 Lado transmisión (l.t.)

Lado de la máquina opuesto al L.O., al que debe accederse sólo para realizar ciertos trabajos de mantenimiento.

1.3.17 Mandril bobinador

Componente que permite enrollar el papel producido por una Máquina Continua para formar “bobinas jumbo”.

1.3.18 Bobinadora

Último módulo de una Máquina Continua, especialmente diseñado para enrollar el papel producido por la misma y formar así las “bobinas jumbo” que se denominarán “bobinas madre” al ser transferidas oportunamente, y con el formato necesario, a la Rebobinadora (proceso de transformación posterior).

1.3.19 Bobina “jumbo”

Bobina de una única capa de papel producido por la Máquina Continua.

1.3.20 Capa

Estrato individual y continuo de papel de una bobina.

1.4 DESCRIPCION DEL PROCESO

La máquina Rebobinadora ha sido diseñada, proyectada y construida para desenrollar hasta un máximo de 2 bobinas jumbo de papel contemporáneamente, unir las capas de los papeles de las bobinas jumbo desenrolladas y enrollar el papel multicapa así formado para producir bobinas finales (de aquí en más denominadas “bobinas madre”) de diversos formatos a fin de responder a exigencias de producción particulares.

Esta máquina es capaz de producir bobinas madre de anchos idénticos a los de las bobinas jumbo originales o varias bobinas madre de anchos diferentes a los de las bobinas jumbo originales simultáneamente mediante el enrollado del papel alrededor de varios “tubos de cartón” (en ciertas Plantas denominados “almas”) del formato necesario para responder a las exigencias de cada ciclo productivo posterior con un único mandril de rebobinado (mandril rebobinador) gracias a un grupo de cuchillas regulable.

Los módulos de desbobinado, el grupo de rodillos extensores del papel, el grupo de corte longitudinal y el módulo de rebobinado son físicamente independientes.

Los componentes principales de esta máquina son:

- (A) Módulo Desbobinador
- (B) Grupo de Corte Longitudinal
- (C) Módulo Rebobinador

1.4.1 Módulos desbobinadores tipo ddr

Cantidad de Módulos Desbobinadores: 2

Se describen a continuación las características principales de cada Módulo Desbobinador.

- Módulo Desbobinador con cilindro desbobinador incorporado, especialmente diseñado para desenrollar el papel de las bobinas jumbo provenientes de la Bobinadora (Pope) de la Máquina Continua.
- Carros porta mandril con mecanismo deslizante (patines) de bolas para traslación a lo largo de guías lineales.

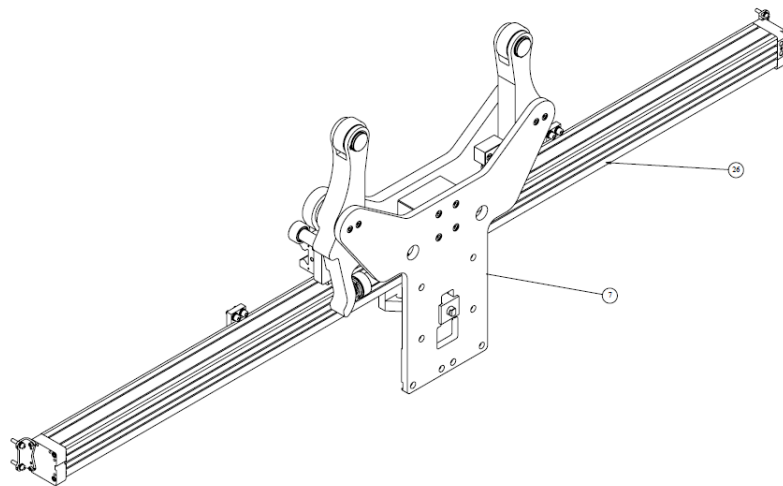


Figura 1-3: Carro porta mandril

- Cilindros neumáticos sin vástago para accionamiento de los carros.



Figura 1-4: Cilindro neumático sin vástago

- Posibilidad de regular la fuerza de compresión ejercida en el área de contacto (“NIP”) entre el cilindro desbobinador y la bobina jumbo. Presión de NIP variable durante el desbobinado (curva predefinida en el software de control) para garantizar la mínima presión indispensable en todas las condiciones.



Figura 1-5: Válvula reguladora proporcional Festo

- Mecanismo de inmovilización del mandril en el carro con sistema incorporado para la extracción de mandriles usados. Solución “Extracción Rápida”: el mandril se extrae al iniciar el desbobinado de la nueva bobina cargada, contribuyendo así a un mayor rendimiento de la Rebobinadora.

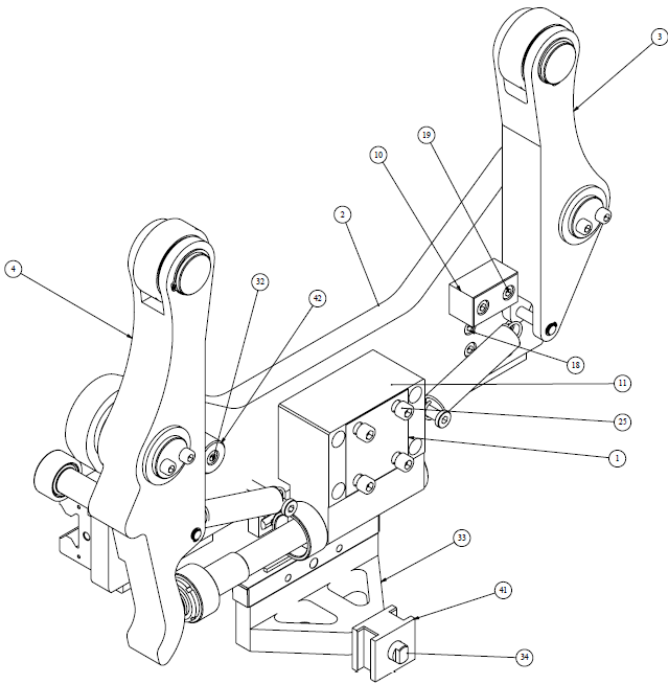


Figura 1-6: Mecanismo de inmovilización del mandril

- Rodillo guía de salida ranurado: accionado a motor, permite sustentar el papel en la salida del Módulo Desbobinador.
- Estructura montada sobre plataforma: posibilidad de alineación axial con mecanismo cric (gatos) accionado a motor.
- Cilindro desbobinador y rodillo guía de salida accionados con motores de corriente alterna, sincronizados con la velocidad del motor “Máster” (referencia principal).
- Sensores de rotura del papel vinculados a la estructura: determinan la parada de la máquina en caso de una rotura del papel elaborado.
- Foil estabilizador con deflector regulable en la entrada: permite reducir el volumen de aire que el papel transporta consigo mismo.
- Lámina de acero inoxidable en la parte inferior de los Módulos Desbobinadores: para sustentar y estabilizar el papel. De geometría particular y altura regulable, esta lámina permite reducir el volumen de aire que el papel transporta.
- La carga de las bobinas jumbo se realiza con un puente- grúa.

1.4.2 Grupo de corte longitudinal (Acción tangencial con cuchillas y contracuchillas).

Se describen a continuación las características principales del Grupo de Corte Longitudinal.

- Carros de corte superiores montados sobre guías de traslación vinculadas a vigas transversales (travesaños).
- Dispositivo mecánico para regulación manual de la posición de corte.
- Mecanismo piñón-cremallera que facilita el posicionamiento de los grupos de corte y permite accionar simultáneamente el grupo de corte superior y el inferior suave y rápidamente.
- Vástago expansible acoplado a un motor de velocidad variable para el accionamiento de los grupos de corte inferiores.
- Carga y operación neumática de los grupos de corte superiores.
- Diámetro cuchilla grupo de corte superior: 180 mm. Diámetro cuchilla grupo de corte inferior: 250 mm.

Los carros que alojan las cuchillas del grupo superior deslizan a lo largo de guías de traslación gracias a un grupo de cojinetes lineales. Una serie de sinfines elevan la viga a la que las guías de traslación de los carros porta cuchillas se encuentran vinculadas aproximadamente 150 mm para facilitar las operaciones necesarias para el “paso del papel” y la sustitución de las cuchillas.

Dos rodillos locos (fibra de Carbono) sustentan el papel aguas arriba y abajo de los grupos de corte.

Canales para eliminación de los retales: de geometría especial y montada sobre planos deslizantes, se accionan con volantes manuales para regular su posición y garantizar una descarga de retales sin inconvenientes.

Dos puertas deslizantes con bastidor de acero y paneles de Lexan: permiten controlar la calidad del corte durante el servicio normal, pudiendo abrirse para realizar trabajos de mantenimiento de los grupos de corte.

Rodillos extensores de superficie curvada aguas arriba y abajo del sector de corte: un rodillo accionado por el mismo motor que acciona el vástago expansible y un rodillo accionado por el primer rodillo de arrastre a través de un mecanismo de transmisión de poleas y correas.

1.4.3 Módulo Rebobinador

La Rebobinadora ha sido diseñada para producir bobinas uniformes. Especialmente concebida para mantener intactas las fibras y las características originales del papel, destaca por su sistema de control ACC (**Active Caliper Control**).

Rodillos de arrastre (tracción) con revestimiento de carburo de tungsteno: de gran diámetro, permiten reducir la tensión de bobinado garantizando contemporáneamente un par de torsión máximo durante el enrollado de las primeras espiras de papel alrededor de los tubos de cartón. Las ranuras del primer rodillo de arrastre permiten extraer el aire que el papel transporta consigo mismo.

Rodillo prensa y cabezales de retención de los mandriles rebobinadores vinculados a carros deslizantes sobre guías de rodamiento. Incorporan un mecanismo de accionamiento neumático y celdas de carga para controlar el perfil de contacto (“nip”).

Regulación del NIP durante el rebobinado mediante motores sin escobillas (brushless) que accionan al rodillo prensa y a los cabezales de retención y Motion Control para control de la posición y de la fuerza ejercida. Barra de torsión (rodillo prensa) y eje eléctrico (cabezales de retención) para garantizar el paralelismo de los carros durante su accionamiento.

Grupo de corte transversal con mecanismo de traslación accionado a motor. Sistema de inyección de aire para adherir la cola del papel al tubo de cartón durante el corte.

Expulsor electromecánico de bobinas madre con soportes porta bobinas que trasladan a lo largo de guías gracias a la acción de un mecanismo cric (gato) accionado a motor. Plano de descarga que permite transferir cada bobina madre final al manipulador de mandriles rebobinador y descargar la bobina a nivel tierra tras la extracción del mandril.

Sistema de Paso del Papel con polea y correa ad hoc que permite pasar el papel por los rodillos de la máquina siguiendo el recorrido necesario para el proceso de elaboración (desde el rodillo guía de entrada aguas arriba del grupo de corte hasta el punto de rebobinado, pasando entre los rodillos de arrastre). La correa del Sistema “Paso del Papel” (PdP) se acciona con un grupo motor+reductor.

El operador prepara la cola del papel a elaborar y la “enhebra” en una ranura de la correa PdP para permitir su paso a través de los rodillos de la máquina, recogiéndola y “desenhebrándola” de la correa una vez que el papel llega al “sector de rebobinado”.

El presente trabajo buscará la optimización de los componentes A y C (Módulo desbobinador y Módulo Rebobinador respectivamente).

CAPÍTULO 2 : PROBLEMÁTICA EN DESBOBINADORES

2.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA EN DESBOBINADOR

Los Jumbos provenientes de la Máquina Tissue que pasan a la bobinadora, no son completamente homogéneos, ya sea por un problema de formación del jumbo por características circunstanciales del papel o al estar en espera para ser consumido por la bobinadora, su mismo peso genera una deformación y al momento de comenzar el proceso de desbobinado es complicado mantener el contacto lineal (NIP) durante todo el desbobinado con el sistema neumático actual.

Dicho sistema consta de un cilindro neumático sin vástago, el cual es controlado por una válvula reguladora proporcional (Festo 6L-L-1-G18-0L10H-A) cuyo principio de funcionamiento es el siguiente:

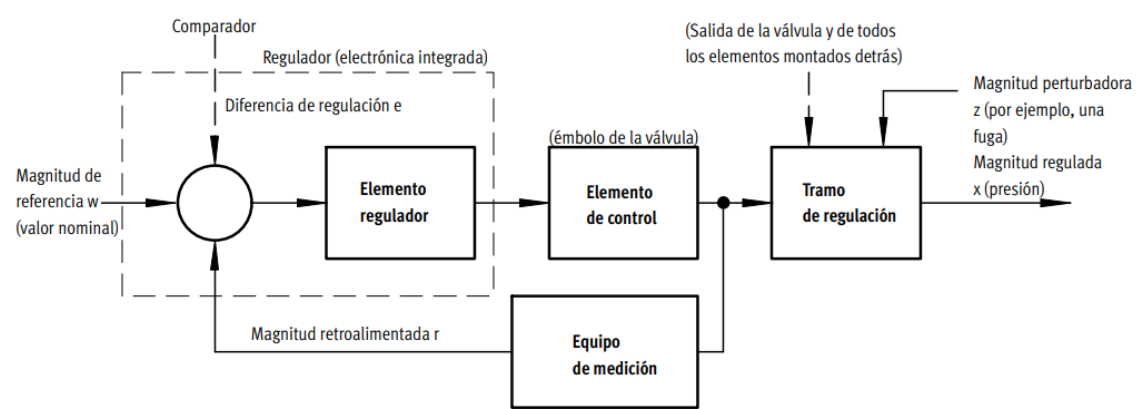


Figura 2-1: Lazo cerrado funcionamiento válvula proporcional

El esquema muestra un circuito de regulación cerrado. La magnitud de referencia w (valor nominal, por ejemplo 5 voltios) primero incide en un comparador. El equipo de medición emite la señal correspondiente a la magnitud a regular x (valor real, por ejemplo 3 bar) en calidad de valor retroalimentado r , que es recibida por el comparador. El elemento regulador detecta la diferencia de regulación e y activa el elemento de control. La señal de salida del elemento de control incide en el tramo. De esta manera, el elemento regulador trata de igualar la magnitud a regular x a la magnitud de referencia w . Esta operación se lleva a cabo de modo continuo, por lo que el sistema siempre detecta cualquier cambio de la magnitud de referencia (valor nominal). Pero una diferencia de regulación también se obtiene si la magnitud de referencia (valor nominal) se mantiene igual y si cambia la magnitud a regular (valor real). Ello sucede si cambia el caudal a través de la válvula a raíz de una operación de conmutación, de un movimiento del cilindro o de un cambio de carga. También la magnitud perturbadora z puede provocar una diferencia de regulación. Por ejemplo, si cae la presión en el sistema de alimentación de aire. La magnitud perturbadora z no incide intencionadamente en la magnitud a regular x . En todos estos casos, el regulador intenta modificar la magnitud a regular x para igualarla a la magnitud de referencia w .

Por tanto, en un funcionamiento ideal se debería esperar que al momento de llegar una referencia de presión de NIP del tipo SetPoint ingresado por el operador, la salida de la válvula reguladora de presión proporcional corregirá los errores e igualara la presión de salida al SetPoint ingresado (Figura 2-2), teniendo como resultado el contacto entre el jumbo y el rodillo desenrollador (Figura 2-3).

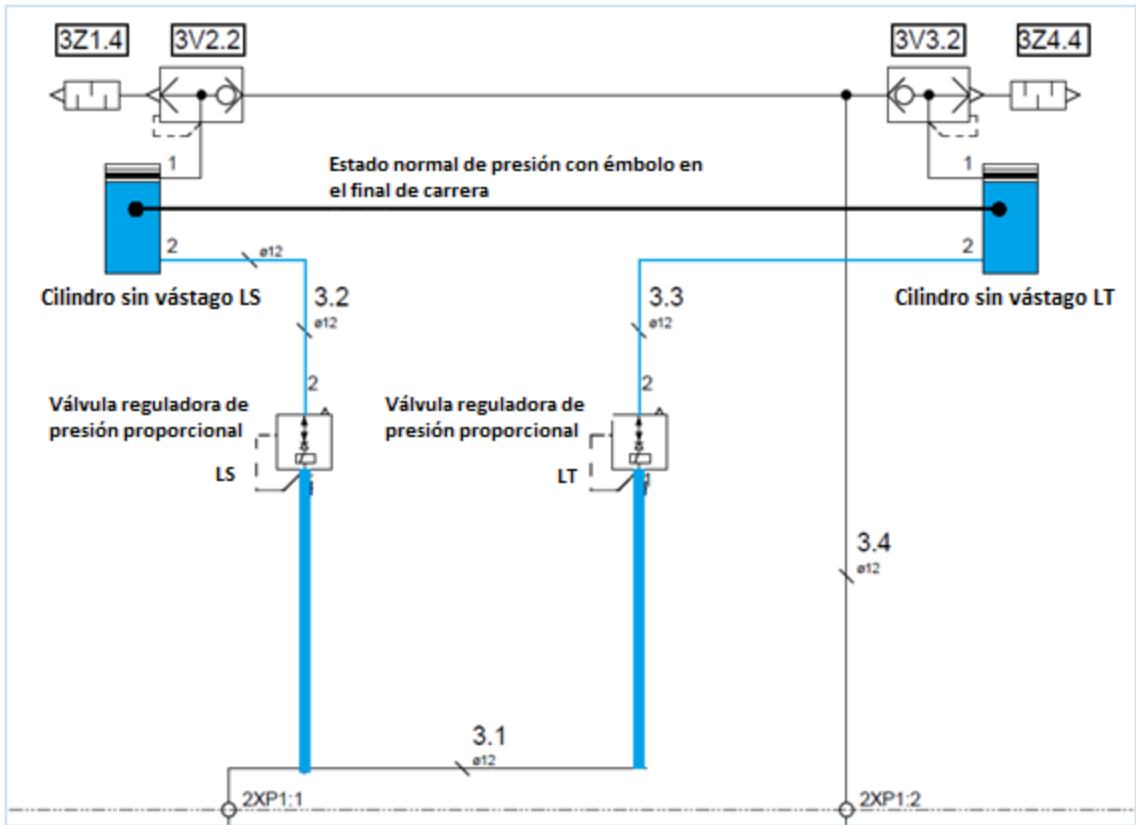


Figura 2-2: Indicación de presión ideal en el sistema

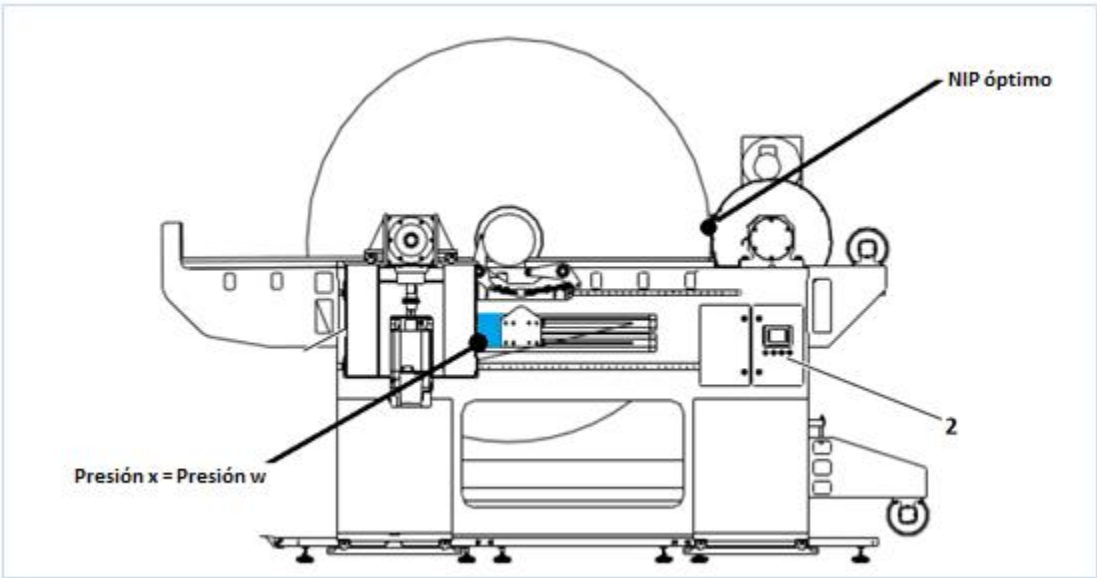


Figura 2-3: Vista lateral con presión del sistema óptima

No obstante, el funcionamiento ideal previamente descrito, es inexacto. Es en este punto en donde radica el gran problema del sistema, ya que, al realizarse un movimiento

en el cilindro neumático (por motivo del choque entre el jumbo no homogéneo y el desbobinador), aumenta la presión “regulada” de la válvula proporcional (Figura 2-4).

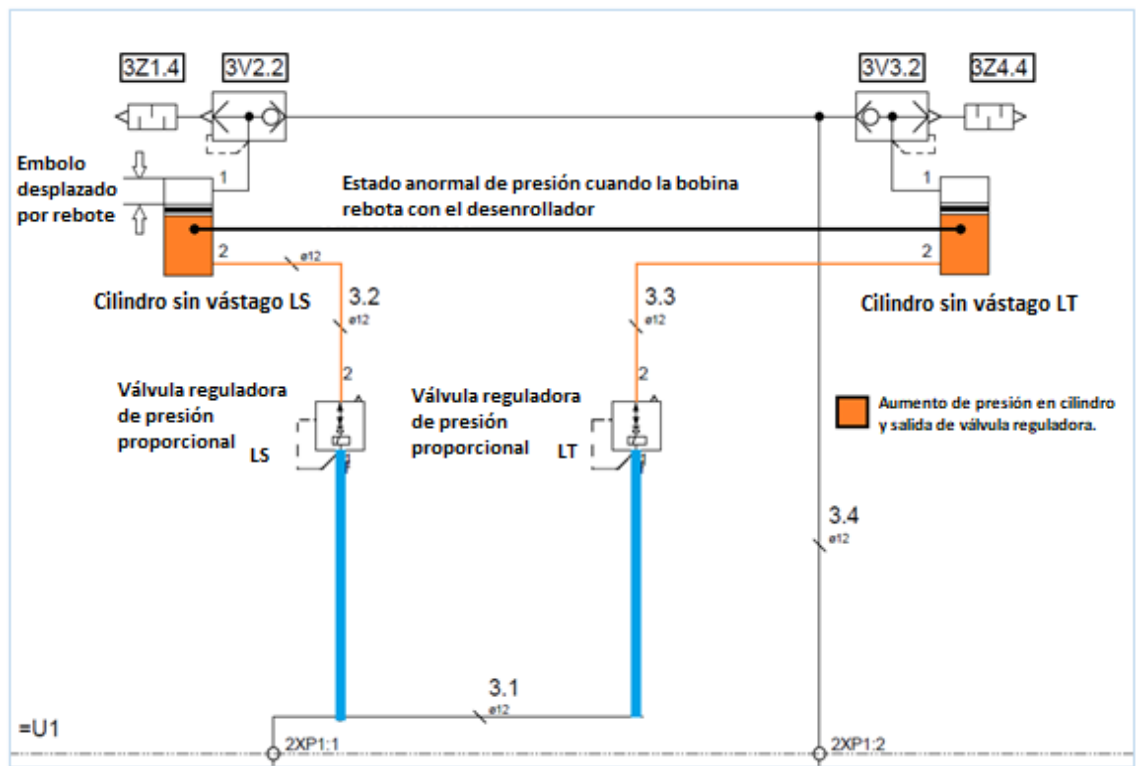


Figura 2-4: Sobrepresión en zona del cilindro

Generando una magnitud retroalimentada más elevada, lo cual genera que la diferencia de regulación varíe, entregándole al elemento regulador una señal “incorrecta” el cual genera un movimiento en el elemento de control que en este caso será disminuir la presión de control y así mantener la salida x igual a la entrada w.

Al manifestarse este “error” la presión de la bobina con respecto al rodillo desbobinador pasa a ser mínima, lo que genera una pérdida de NIP entre ambos (Ilustración 4), luego de esto, la medición de presión pasa a su “normalidad” entregándole una señal al elemento de control que hará que nuevamente la señal de salida x sea igual a la señal de entrada w (Figura 2-6).

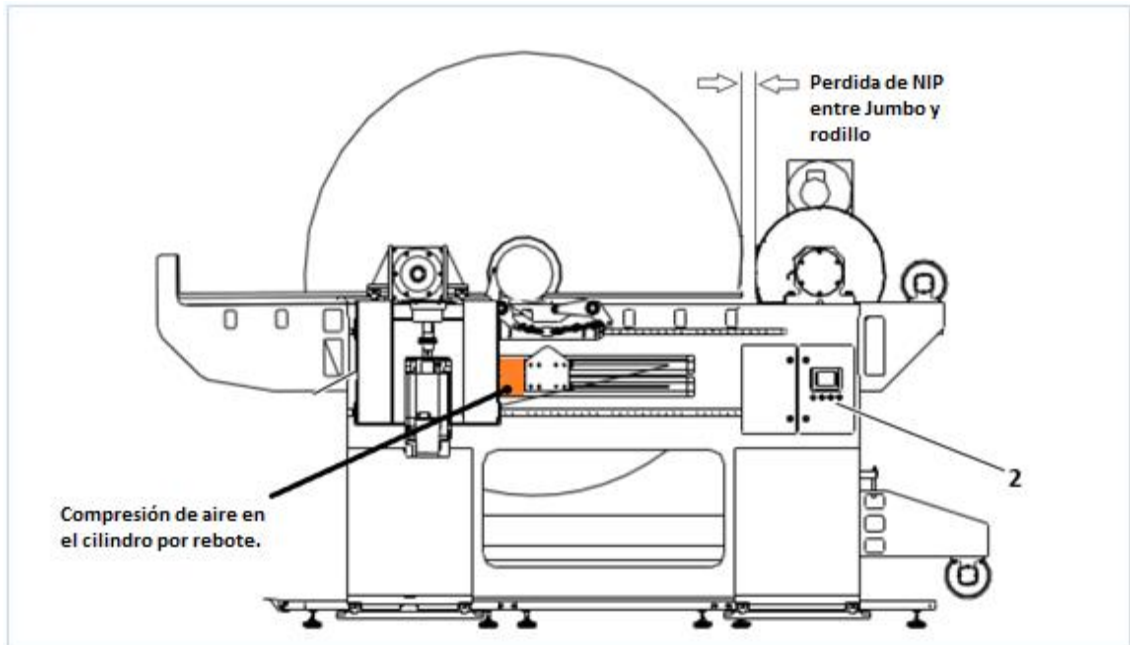


Figura 2-5: Vista lateral con sobrepresión en el sistema

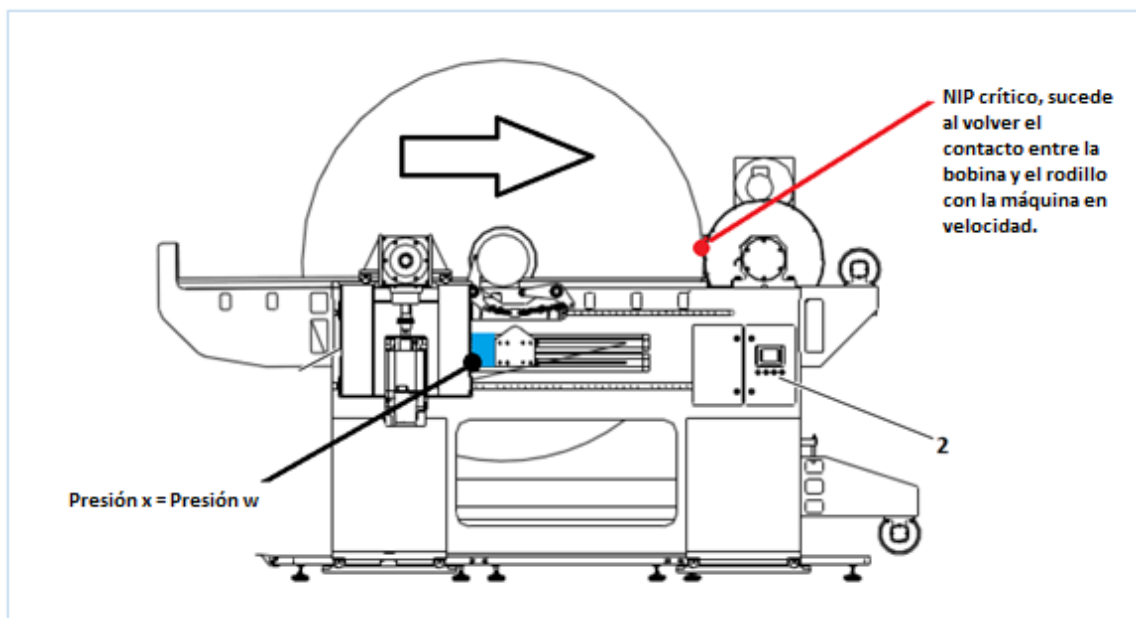


Figura 2-6: Representación NIP crítico

Las consecuencias que trae este problema son múltiples, donde podemos observar:

- Cortes de Hoja.
- Arrugas en el papel bobinado.
- Pérdidas de formato por torcimiento de corte.
- Tiempos improductivos

2.2 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LOS DESENROLLADORES

La solución será intentar mantener lo más íntegramente posible la estructura física y de hardware de la máquina, realizando modificaciones mínimas al sistema de desbobinado, integrando equipos de medición y acción, que aseguren un control de NIP durante todo el proceso de la bobina.

Para esto se reemplazará todo el sistema actual neumático, por un sistema con Celdas de carga y un motor de imanes permanentes, lo cual trabajará de la siguiente forma:

Se instalarán las cerdas de carga en cada uno de los cabezales del antiguo sistema (Figura 2-7).

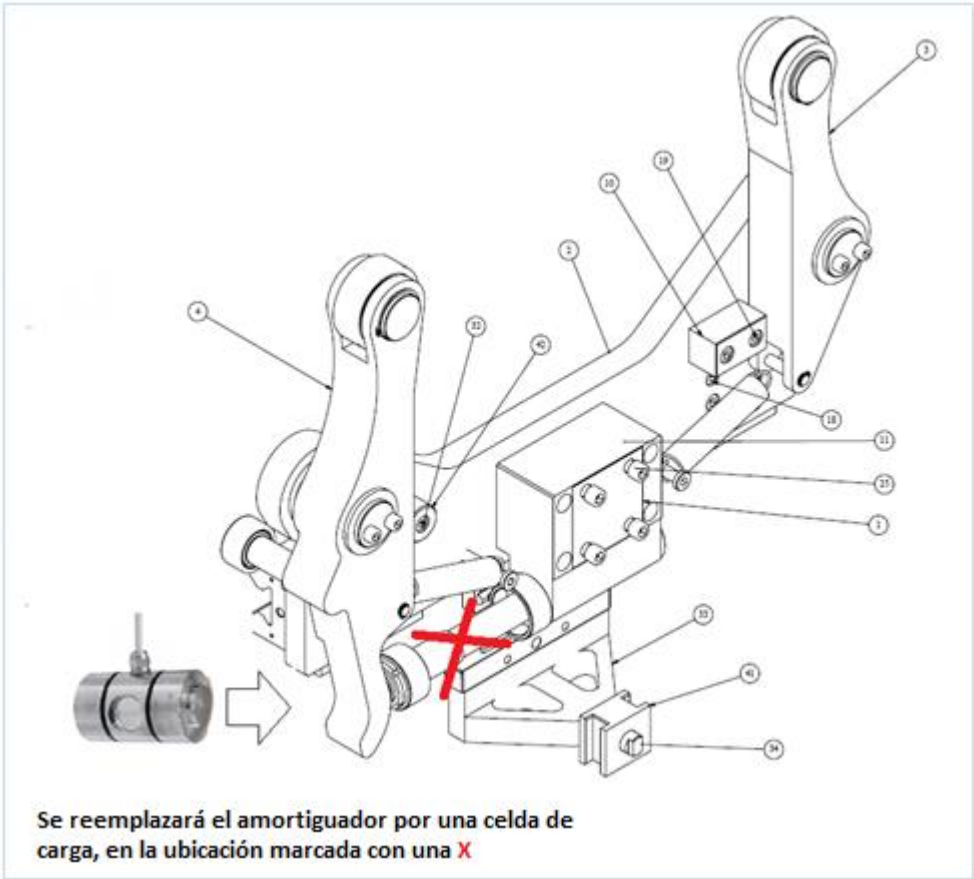


Figura 2-7: Indicación posición celda de carga

Las cuales enviarán una señal eléctrica mediante su amplificador a un módulo descentralizado de entradas analógicas, posterior a esto, la señal se procesará en el programa del PLC Siemens S7-1200, este realizará una comparación con algún valor seteado por el operador, en caso de que esta comparación sea diferente (por lo cual será necesario realizar una corrección), se enviará mediante un módulo descentralizado de salidas analógicas AO, una señal al servo accionamiento, quien realizará un movimiento del motor según corresponda (movimiento horario-Mayor NIP / movimiento anti horario-Menor NIP), de esta forma cuando una bobina comience a “rebotar” el sistema con celda de carga verá la pérdida de peso entre el jumbo y el rodillo desenrollador y lo corregirá, manteniendo así el control de NIP durante todo el proceso de Desbobinado (Figura 2-8).

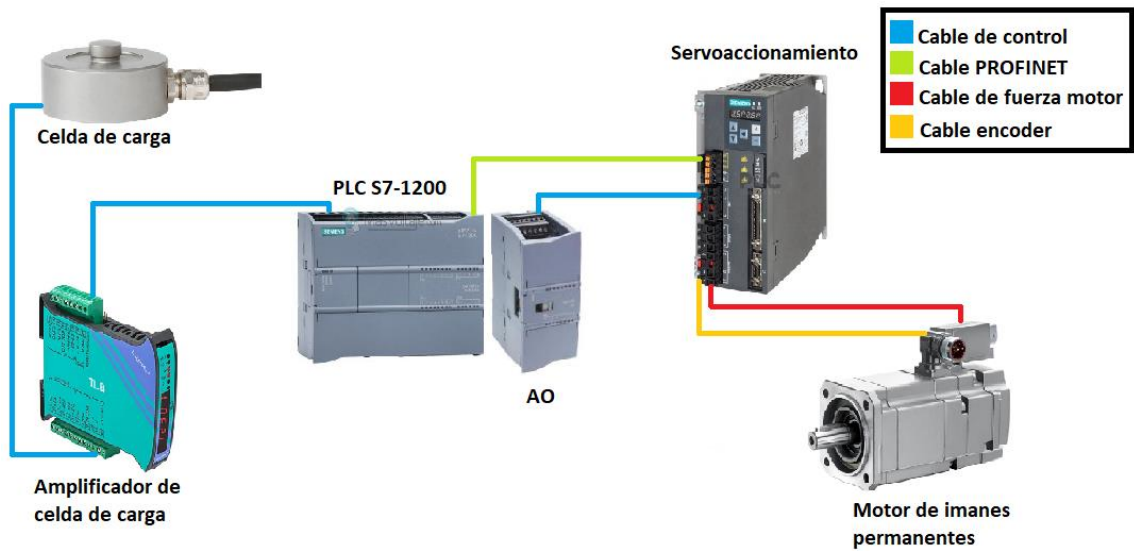


Figura 2-8: Implementación nuevo sistema para control de NIP en desbobinadores

Los elementos propuestos serán los siguientes:

- Celda de carga Wika F1211
- Amplificador de celda de carga TLB TLBPROFINETIO
- PLC Siemens S7-1200
- Módulo AO Siemens 6ES7232-4HD30-0XB0
- Servoaccionamiento Sinamics V90
- Motor de imanes permanentes Siemens 1FK7060-2AC71-1KH0

2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS

2.3.1 Celda de carga

La celda de carga son transductores que convierten una fuerza en una señal eléctrica.

Su principio de funcionamiento está basado en galgas extensiométricas, que corresponden a resistencias eléctricas formando un puente de Wheatstone. La medición está sujeta a la galga, entonces la variación de la resistencia depende de la deformación que esta sufre.

Existe una gran variedad de estos dispositivos, pero de acuerdo a la ilustración 5, necesitamos un dispositivo que actúe en forma instantánea a la presión ejercida por el Jumbo a desbobinador.

De acuerdo a los requerimientos previos mencionados, se optó por seleccionar una celda de carga de compresión.



Figura 2-9: Representación celda de carga

Son mecanismos típicos en pesaje industrial utilizados en procesos continuos como solución conveniente para monitorear fuerzas imprevistas que aparecen durante el funcionamiento, son simples de instalar, con tiempos de respuesta inmediatos a la fuerza ejercida y el contacto.

Características principales del producto de acuerdo a las necesidades de la máquina

- Construcción de acero inoxidable
- Grado de protección IP65
- Carga máxima 10Ton.
- Alimentación 3 a 15Vcc
- Salida 4 a 20mA

Dentro de las alternativas que ofrece el mercado, se recomienda una celda de carga de la marca Wika, la cual cumple con las características mínimas antes mencionadas y sus rangos de error, repetibilidad y desviación son los menos influyentes en el proceso.

Marca: WIKA

Modelo: F1211

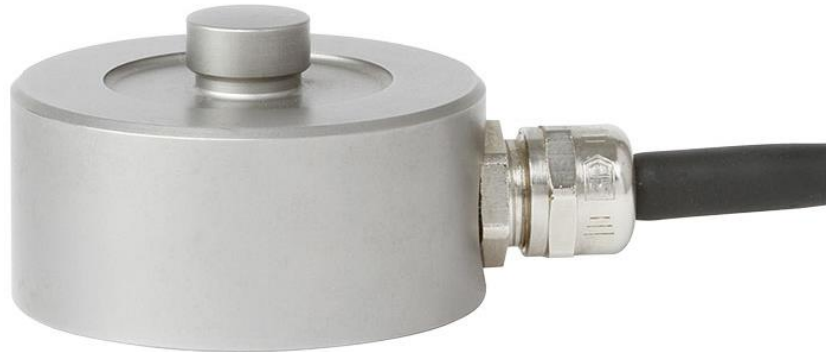


Figura 2-10: Celda de carga Wika

Datos técnicos de acuerdo con VDI / VDE / DKD 2638

Fuerza nominal F_{nom} kN: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000

Error de linealidad relativa d_{lin} : $\pm 0.3\% F_{nom}$ (opcional $<\pm 0.1\% F_{nom}$)

Arrastramiento relativo, 30 min.: $<\pm 0.08\% F_{nom}$ (opcional $<\pm 0.06\% F_{nom}$)

Efecto de la temperatura en la señal cero TK_0 : $<\pm 0.06\% / 10\text{ K}$ (opc. $<\pm 0.05\% / 10\text{ K}$)

Efecto de la temperatura en el valor característico TK_C : $<\pm 0.07\% / 10\text{ K}$ (opcional $<\pm 0.05\% / 10\text{ K}$)

Límite de fuerza FL : $150\% F_{nom}$

Fuerza de rotura FB : $> 300\% F_{nom}$

Tensión de oscilación admisible a DIN 50100 F_{rb} : $70\% F_{nom}$

Desplazamiento nominal s_{nom} : $<0.15\text{ mm}$

Material: Acero inoxidable

Rango de temperatura nominal BT, nom : $-10\ldots +70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Rango de temperatura de funcionamiento BT, G : $-30\ldots +80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Rango de temperatura de almacenamiento BT, S : $-50\ldots +95\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura de referencia T_{ref} : $23\text{ }^{\circ}\text{C}$

Señal de salida (salida nominal) C_{nom} : $2.0\text{ mV} / V$

Error relativo del valor de la característica dC : $<\pm 0.3\% F_{nom}$ (opcional $<\pm 0.1\% F_{nom}$)

Resistencia de entrada / salida R_e / R_a : 350 Ω

Resistencia de aislamiento: > 2 G Ω

Conexión eléctrica: ■ Estándar: Cable 3 m, 4 hilos

■ Opción: 6 cables, cadena de arrastre adecuada

Rango nom. de voltaje de excitación BU, nom: DC 2...12 V (máx. 15 V) para mV / V

Tensión de alimentación: ■ Estándar: DC 12... 28 V

■ Opción: Para amplificador opc. integrado o por cable mA / V

Opción: integrada o amplificador de cable

0 (4) ... 20 mA

DC 0... 10 V

Amplificador integrado para 20 kN hasta 1,000 kN posible

Protección (según IEC / EN 60529): IP67

Control de calibración (opcional): 100% señal (la desafinación del puente de medición es posible a través de una resistencia de derivación integrada y conmutable)

Peso en kg: ■ 1, 2, 5, 10 kN: 0.4

■ 20, 50 kN: 1.5

■ 100 kN: 3.0

■ 200 kN: 3.2

■ 500 kN: 7.0

■ 1,000 kN: 8.3

2.3.2 Amplificador de peso

Son equipos electrónicos de alta precisión diseñados para procesar y convertir una señal generada por Celdas de carga a un formato proporcional estandarizado que permite la conexión del transmisor directamente al PLC.

Marca: TLB
Modelo: TLBPROFINETIO



Figura 2-11: Amplificador de peso TLB

2.3.3 PLC

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232.

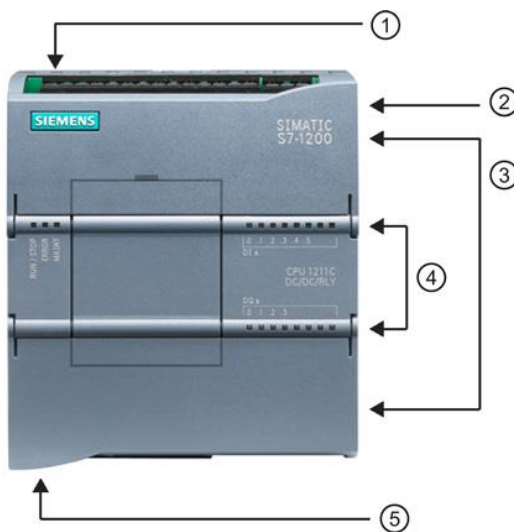


Figura 2-12: PLC Siemens S7-1200

- ① Conector de corriente
- ② Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
- ③ Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
- ④ LEDs de estado para las E/S integradas
- ⑤ Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

2.3.4 Módulo Análogo Output

Para obtener una compatibilidad idónea con el PLC SIMATIC S7-1200, se eligió un módulo de salida con las siguientes características:

Marca: SIEMENS

Modelo: 6ES7232-4HD30-0XB0



Figura 2-13: Módulo análogo output

Información general

Designación del tipo de producto: SM 1232, AQ 4x14 bit

Tensión de alimentación valor nominal (DC): 24 V DC

Corriente de entrada, consumo de corriente, tip. 45 mA

Desde el backplane bus 5 V DC, typ.: 80 mA

Pérdida de potencia: 1.5 W

Salidas analógicas

Número de salidas analógicas: 4 AO

Rangos de salida, voltaje: -10 V a +10 V Sí

Rangos de salida, corriente: 0 a 20 mA

2.3.5 Servoaccionamiento

El servoaccionamiento SINAMICS V90 está integrado con una interfaz de entrada/salida digital, una interfaz de tren de impulsos y una interfaz analógica. Se puede conectar tanto a un controlador de Siemens como S7-200, S7-1200 o S7-200 SMART, como a un controlador de terceros. El PLC puede leer información de posición absoluta del servoaccionamiento a través del puerto RS 485.

Se puede instalar en un PC una herramienta software de configuración: SINAMICS VASSISTANT.

El PC se puede comunicar con el servoaccionamiento SINAMICS V90 a través de un cable USB para realizar ajustes de parámetros, marchas de prueba, supervisión de la visualización de estado, ajustes de ganancia, etc.



Figura 2-14: Servoaccionamiento Siemens V90

En la sesión siguiente se muestra un ejemplo de configuración del servosistema SINAMICS

V90:

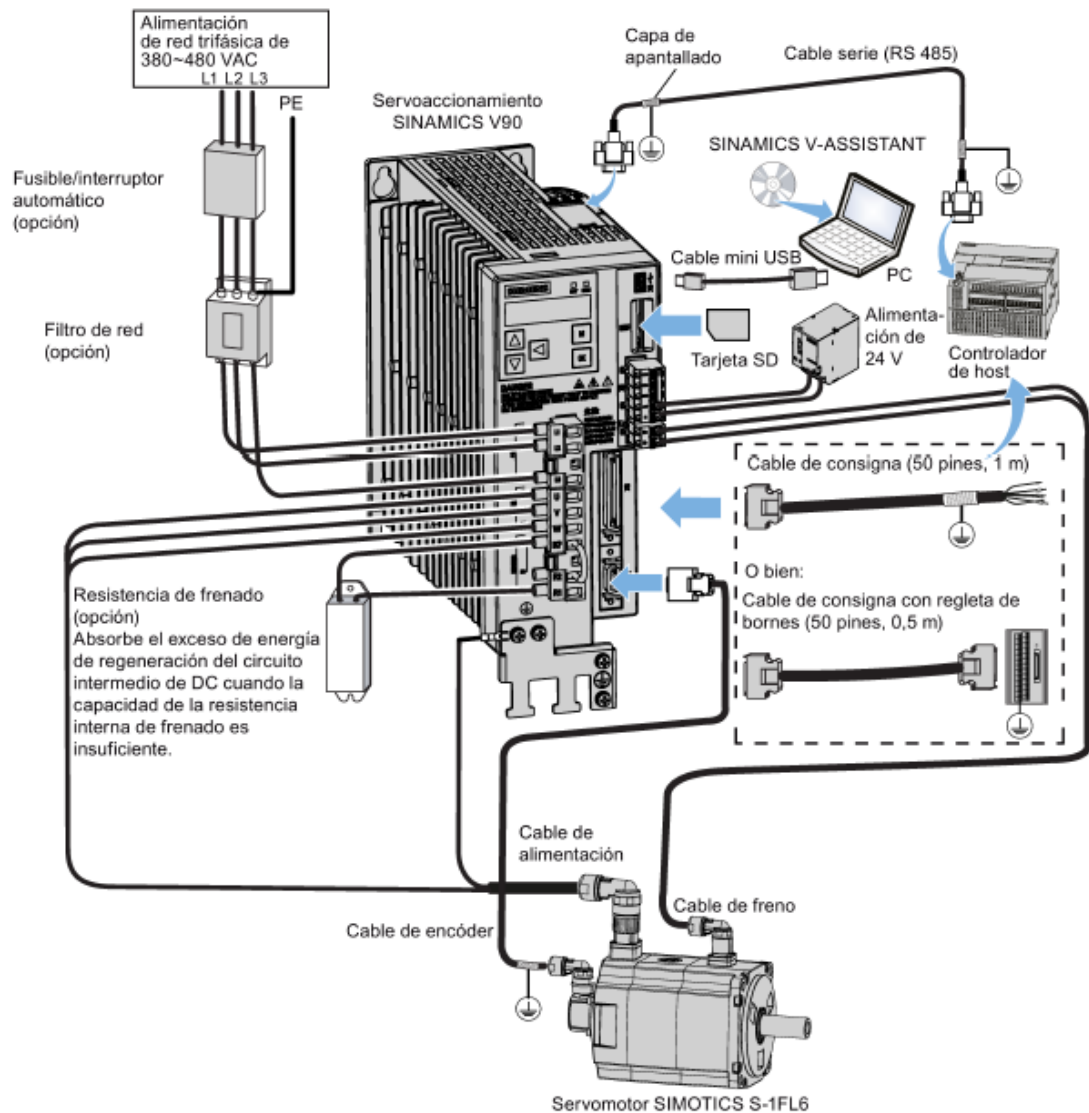


Figura 2-15: Ejemplo configuración para servoaccionamiento Siemens V90

Las características que definen este sistema como uno de los más confiables para nuestro control de NIP por celdas de cargas son los siguientes:

- Control de posición con entrada de tren de impulsos (PTI): Implementa un control de posición preciso mediante dos canales de entrada de tren de impulsos: señal diferencial de 5 V, o bien asimétrica de 24 V. Además, admite la función de filtro de posición de curva en S.
- Control de posición interno (IPos): Implementa un control de posición preciso mediante órdenes de posición internas (hasta ocho grupos) y permite especificar la aceleración/velocidad de posicionamiento.

- Control de velocidad (S) Controla de forma flexible la velocidad y el sentido de giro del motor mediante órdenes de velocidad analógicas externas (0 - ± 10 VDC), o bien órdenes de velocidad internas (hasta siete grupos).
- Control de par (T): Controla de forma flexible el par de salida del motor mediante órdenes de par analógicas externas (0 - ± 10 VDC), o bien órdenes de par internas. Además, admite la función del límite de velocidad para evitar que el motor se embale en ausencia de carga.
- Controles compuestos: Admite conmutaciones flexibles entre modo de control de posición, modo de control de velocidad y modo de control de par.
- Sistema de posición absoluta: Permite implementar tareas de control de movimiento tras conectar la alimentación a un servosistema con un encoder absoluto, sin necesidad de realizar antes un referenciado ni determinar la posición cero.
- Conmutación de ganancia: Conmuta entre ganancias, con el motor girando o parado, con una señal externa o parámetros internos, para reducir el ruido o el tiempo de posicionamiento, o bien mejorar la estabilidad de funcionamiento de un servosistema.
- Conmutación PI/P: Conmuta desde control PI a control P, con una señal externa o parámetros internos, para suprimir rebases durante aceleración o deceleración (en el modo de control de velocidad), o bien para mejorar la respuesta durante el posicionamiento y reducir el tiempo de estabilización (en el modo de control de posición).
- Safe Torque Off (STO): Desconecta de forma segura la alimentación que genera par del motor a fin de evitar un re arranque no intencionado del motor.
- Fijación a velocidad cero: Detiene el motor y fija el eje del motor cuando la consigna de velocidad del motor es inferior a un nivel umbral parametrizado.
- Comunicación Modbus: Admite la comunicación entre el servoaccionamiento SINAMICS V90 y el PLC con el protocolo de comunicación Modbus estándar.
- Ajuste automático con un solo botón: Estima la característica de la máquina y ajusta los parámetros de control en lazo cerrado (ganancia del lazo de posición, ganancia del lazo de velocidad, compensación integral de velocidad, filtro en caso necesario, etc.) sin intervención del usuario.

- Ajuste automático en tiempo real: Estima la característica de la máquina y ajusta los parámetros de control en lazo cerrado (ganancia del lazo de posición, ganancia del lazo de velocidad, compensación integral de velocidad, filtro en caso necesario, etc.) de forma continua y en tiempo real, sin intervención del usuario.
- Supresión de resonancia: Suprime las resonancias mecánicas, como vibración de la pieza de trabajo o vibración de bancada.
- Supresión de vibraciones de baja frecuencia: Elimina la vibración de baja frecuencia en el sistema de la máquina.
- Límite de velocidad: Limita la velocidad del motor mediante órdenes de límite de velocidad analógicas externas (0 - ± 10 VDC), o bien órdenes de límite de velocidad internas (hasta tres grupos).
- Límite de par: Limita el par del motor mediante órdenes de límite de par analógicas externas (0 - ± 10 VDC), o bien órdenes de límite de par internas (hasta tres grupos).
- Relación de reductor electrónico: Define un multiplicador para los impulsos de entrada.
- Basic operator panel (BOP): Muestra el estado del servo en un visualizador LED de 7 segmentos y 6 dígitos.
- Resistencia de frenado externa DCP, R1: Se puede usar una resistencia de frenado externa cuando la resistencia de frenado interna no puede disipar la energía de regeneración.
- Entradas/salidas digitales (DI/DO): Se pueden asignar señales de control y señales de estado a seis salidas digitales y ocho entradas digitales programables.
- Función de filtro: Transforma las características de posición desde la consigna de entrada del tren de impulsos a un perfil en S con una constante de tiempo parametrizada.
- SINAMICS V-ASSISTANT D: Desde un PC se pueden ajustar parámetros, realizar funcionamientos de prueba, ajustes y otras operaciones.

2.3.6 Motor

Existente dos grandes grupos de motores: asíncronos y síncronos.

Para la mejora del sistema de desenrollado de papel Tissue, no se puede utilizar un motor tipo asíncrono, ya que, su rotor nunca podrá llegar a girar a la misma frecuencia que el campo magnético del estator. Se sabe que la corriente eléctrica del rotor necesaria para producir torsión es creada por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator y, por lo tanto, desfasando cierto ángulo respecto a la onda senoidal de la corriente alterna que alimenta el motor. Por lo general este tipo de motores se utilizan en partidas directas.

Si bien, el principio de los motores síncronos es el mismo que los asíncronos, transformar potencia eléctrica en mecánica, con la diferencia que su principal cualidad es trabajar en velocidades constantes dependiendo de la frecuencia de la red y los propios aspectos de la máquina.

Otra gran diferencia, es que estos motores para tener un funcionamiento preciso deben ser alimentados por drive's (variadores de frecuencia).

Existe una gran variedad de motores para diferentes aplicaciones y requisitos de potencia que depende de la máquina, también de pequeño y gran tamaño físico, llegando a los que tienen diversos accesorios haciéndolo más sofisticado y dando beneficios a la precisión de lo que se desea.

Al basarse en los motores síncronos, están los servomotores y los motores de imanes permanentes.

Los servomotores son dispositivos de accionamiento para el control de velocidad, torque y posición. Estos reemplazan otros accionamientos como neumáticos o hidráulicos, pero no para aplicaciones con torques elevados.

Estos motores con escobillas son económicos y confiables, también logran trabajar a torques elevados en inercia. Están diseñados para operaciones exigentes. Sus desventajas, es que las escobillas se desgastan con el tiempo y producen un exceso de polvo, por lo tanto, necesitan un mantenimiento periódico, además suelen ser un punto de falla muy común en máquinas con exceso de polvo, lo cual exige realizar cambios periódicos. Otro punto de falla es la mala disipación del calor debido a las limitaciones de rotor, su alta inercia y baja velocidad máxima e interferencia electromagnética generada por el arqueado de las escobillas.

Los motores de imanes permanentes, necesitan ser alimentados por fuentes de corriente alterna, directamente conectado a un variador de frecuencia. Estos equipos no tienen escobillas en su interior, la construcción del núcleo ferromagnético esta invertida con respecto a los servomotores con escobillas. En este caso el rotor es un imán permanente y el estator es un núcleo ferromagnético con embobinado.

Este mecanismo al no tener escobillas, se reduce un punto de falla, además de ser menos necesarias las mantenciones. Se caracteriza por su diseño robusto y el rendimiento de un motor síncrono, proporcionando un alto torque acoplado directamente con la carga a bajas y variables velocidades

De acuerdo a lo analizado anteriormente, se puede analizar que los más óptimo para la aplicación es un motor de imanes permanentes, ya que, es ideal para espacios limitados y la mantención no es una opción, solo existe una máquina bobinadora, posicionándola como un equipo de alta criticidad dentro del proceso productivo.

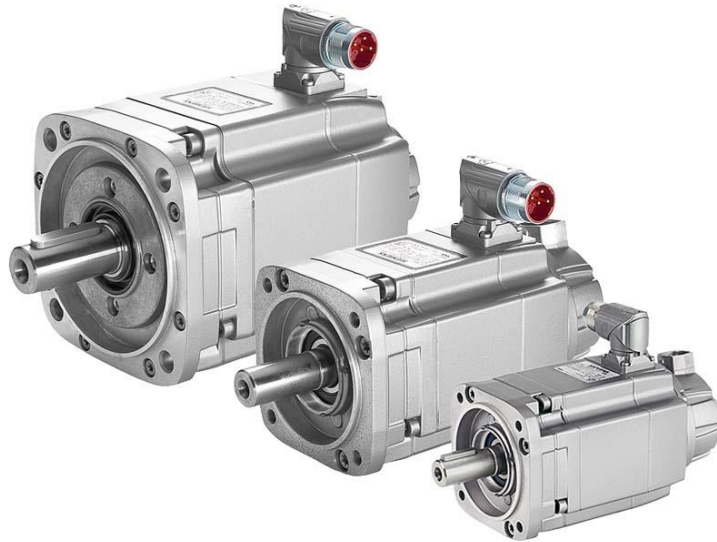


Figura 2-16: Representación motor de imanes permanentes

Características principales del producto de acuerdo a las necesidades de la máquina

- Motor síncrono con imanes permanentes
- Potencia 1,1kW
- Máxima velocidad 2000rpm
- Grado de protección IP65

Cabe mencionar que el accionamiento y la sala de drive's de la máquina bobinadora fueron diseñados con equipos de la marca Siemens. Su conexión debe ser a través de conectores giratorios y cables premontados, especificados por el fabricante, así garantizando una conexión flexible, rápida y segura al convertidor.

Finalizando el análisis del motor a utilizar, se recomienda el siguiente modelo que cumple con todos los puntos mencionados anteriormente.

Marca: SIEMENS

Modelo: 1FK7060-2AC71-1KH0

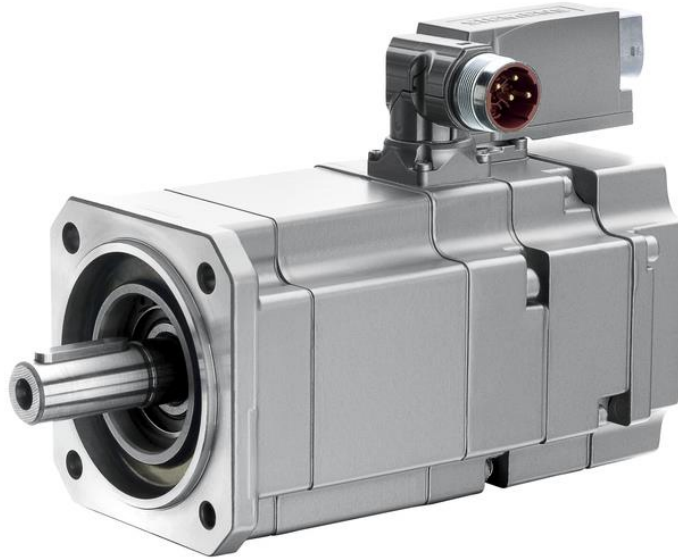


Figura 2-17: Motor de imanes permanentes Siemens 1FK7060-2AC71-1KH0

Datos de ingeniería:

Velocidad nominal: 2000 rpm

Numero de polos: 8

Corriente nominal: 3 A

Par motor estático (60 K): 5 Nm

Par motor estático (100 K): 6Nm

Corriente de calado (60 K): 2,5 A

Corriente de calado (100 K): 3,1 A

Momento de inercia: 8.700 kgcm²

Eficiencia: 90%

Constantes físicas:

Torque constante: 1.91 Nm/A

Voltaje constante a 20°C: 121.0 V/1000*min⁻¹

Resistencia del devanado a 20°C: 2.75 Ω

Inductancia de campo giratorio: 30.5 mH

Constante de tiempo eléctrico: 11.10 ms

Constante de tiempo mecanico: 1.75 ms

Constante de tiempo térmico: 30 min

Eje de rigidez torsional: 40500 Nm/rad

Peso neto del motor: 8.5 kg

Datos mecánicos:

Tipo de motor: Motor síncrono de imanes permanentes, compacto

Altura del eje: 63

Enfriamiento: Enfriamiento natural

Tolerancia de desviación radial: 0.040 mm

Tolerancia a la concentricidad: 0.10 mm

Tolerancia de desviación axial: 0.10 mm

Grado severo de vibración: Grado A

Tamaño del conector: 1

Grado de protección: IP65

Tipo de montaje: IM B5 (IM V1, IM V3)

Monitoreo de temperatura: Sensor de temperatura Pt1000

Conectores eléctricos: Conectores para señales y potencia giratoria

Color de la carcasa: Estándar (Antracita RAL 7016)

Freno de retención: Con freno de retención

Extensión del eje: Eje liso

Sistema de encoder: Codificador AM24DQI: absoluto, encoder de 24 bits (resolución 16777216, codificador interno 2048 S/R) +12 bits multivuelta (atravesando el rango 4096 de resoluciones)

Punto de funcionamiento óptimo:

Velocidad optima: 2000 rpm

Potencia optima: 1.1 kW

Limitación de datos:

Max. velocidad permitida (mecánica): 7200 rpm

Max. Velocidad admisible (inversor): 4750 rpm

Torque máximo: 18.0 Nm

Corriente máxima: 10.7 A

Freno de retención:

Versión de freno de retención: Freno de imán permanente

Par de retención: 13.0 Nm

Tensión de alimentación: DC 24 V $\pm$ 10 %

Corriente de la bobina: 0.8 A

Tiempo de apertura: 100 ms

Tiempo de cierre: 50 ms

Módulo de motor recomendado:

Corriente nominal del inversor: 3 A

Máxima corriente invertida: 9 A

Maximum torque: 15.90 Nm

CAPÍTULO 3 : PROBLEMÁTICA EN REBOBINADORA

3.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA REBOBINADOR

En este capítulo se analiza la segunda deficiencia de la máquina rebobinadora Reelite 20 ENS, para lo cual se presenta a grandes rasgos la función del principal objeto de evaluación, el rodillo prensa.

La función del rodillo prensa consiste en ejercer una fuerza de compresión contra la bobina en fase de formación así “acompañarla” y determinar así sus características finales. El rodillo prensa opera siguiendo una curva de aligeramiento que determina la fuerza de compresión que el mismo ejerce en función del diámetro de la bobina en fase de formación. Siempre que se satisfagan todas las condiciones necesarias este movimiento puede ejecutarse en modo manual.

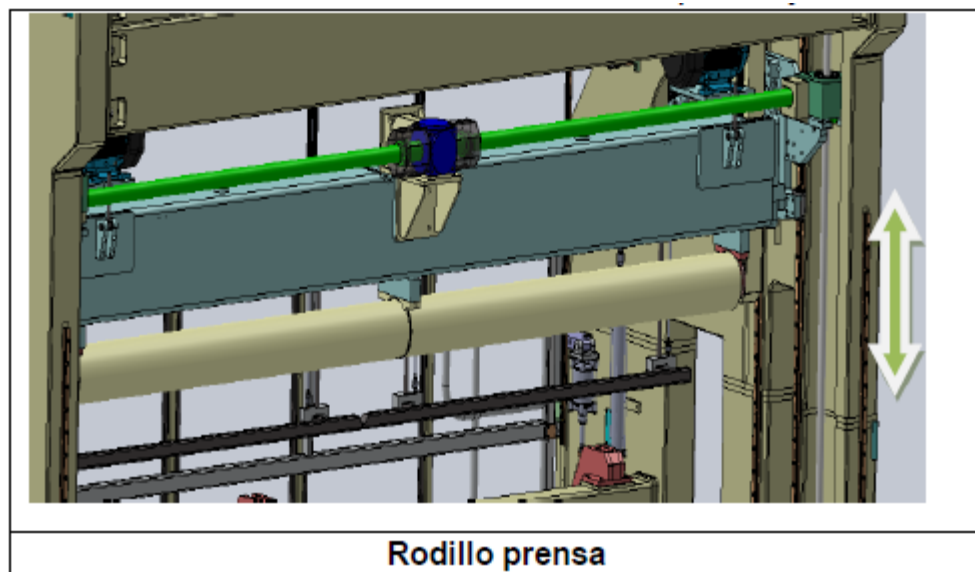


Figura 3-1: Posición de trabajo rodillo prensa

Además, se puede subir y bajar sólo cuando la máquina ha concluido un ciclo de producción (máquina en “stand-by”).

Cuando la máquina se encuentra en servicio normal este rodillo se acciona automáticamente siguiendo la curva de aligeramiento configurada apenas mencionada.

Las señales de las celdas de carga instaladas a ambos lados del rodillo permiten a este sistema mantener el “nip” constante.

Las características de fabricación que definen a este rodillo son las siguientes:

- Diámetro de 250mm
- Largo total de 5700mm
- Material de fibra de carbono

Este rodillo es parte fundamental de la máquina teniendo una alta criticidad, ya que, sin él, la rebobinadora simplemente no puede trabajar.

La falencia encontrada en este sistema, es que a pesar de que cuenta con un control de NIP que es bastante eficiente, en varias ocasiones, producto de una mala manipulación del operador, combinada con condiciones de proceso, ha generado daños irreversibles en este rodillo, causando la rotura total de su recubrimiento de fibra de carbono, quedando inoperante y con varias horas de improductividad acuesta, entregándonos así una oportunidad de mejora en este sistema.

El estudio comienza intentando clarificar cual es el real motivo de la destrucción del rodillo prensa, en donde se pudo rescatar información valiosa, según los antecedentes de los operadores que trabajan en turno al momento de ocurrir el accidente. En esta recopilación de datos existen precedentes que se dan en todas las ocasiones que el rodillo sufrió daño, las cuales se enumeran a continuación:

1. En las 3 roturas del rodillo prensa, el producto que se estaba procesando era papel toalla de 29gr/m² y textura lisa.
2. En las 3 roturas de rodillo prensa, el operador indica que antes del suceso sufrió un corte de hoja, por lo cual tuvo que subir el rodillo prensa de forma manual, para realizar procedimiento de ensamblado de hojas, posterior a esto teniendo todas las condiciones de proceso sin errores, pasa el rodillo prensa a modo Automático (Estando en la posición más alta), y al momento de bajar y tener un contacto de NIP con la bobina en formación este se quebró sin ningún aviso ni alarma.

Estos antecedentes son fundamentales para poder realizar un estudio preliminar del real problema, ya que, en el primer punto podemos concluir que las características de un papel de 29gr/m² con textura lisa bobinado, tiene como consecuencia un SET totalmente rígido y duro, sin ningún tipo de “amortiguación” al rodillo prensa.

Se realizó un estudio del comportamiento de la fibra de carbono con objetos rígidos, cuyos resultados fueron los siguientes:

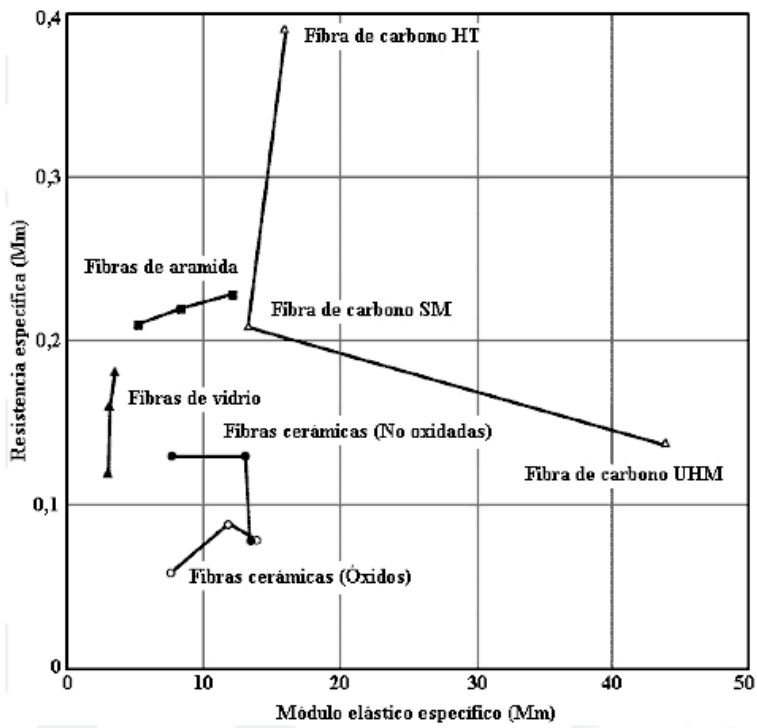


Figura 3-2: Grafico de comportamiento fibra de carbono

Propiedad/parámetro	Carbono
Resistencia a la tracción	Muy Bueno
Resistencia a la compresión	Muy Bueno
Resistencia a la flexión	Muy Bueno
Resistencia al impacto	Malo
Resistencia a la fatiga	Muy Bueno
Dilatación térmica	Muy Bueno
Resistencia al fuego	Malo
Aislamiento térmico	Malo
Aislamiento Electrico	Malo

Tabla 3-1: Propiedades fibra de carbono y su estatus

Al revisar los resultados obtenidos, se encuentra que la fibra de carbono utilizada como recubrimiento es muy vulnerable a los impactos, esto es un problema, ya que, el control de NIP comienza a trabajar al momento de poner en Marcha la bobinadora, por lo que el rodillo prensa cuando hay un corte de hoja y se sube en modo manual para poder realizar algún procedimiento en la bobina en fase de formación. Al finalizar este procedimiento y ponerlo en modo automático, el rodillo prensa baja, teniendo como referencia solo el valor entregado por el encoder del motor de translación de este, el cual

no contabiliza todo el papel enrollado después del corte de hoja, por lo que vuelve a su última posición conocida (antes del corte).

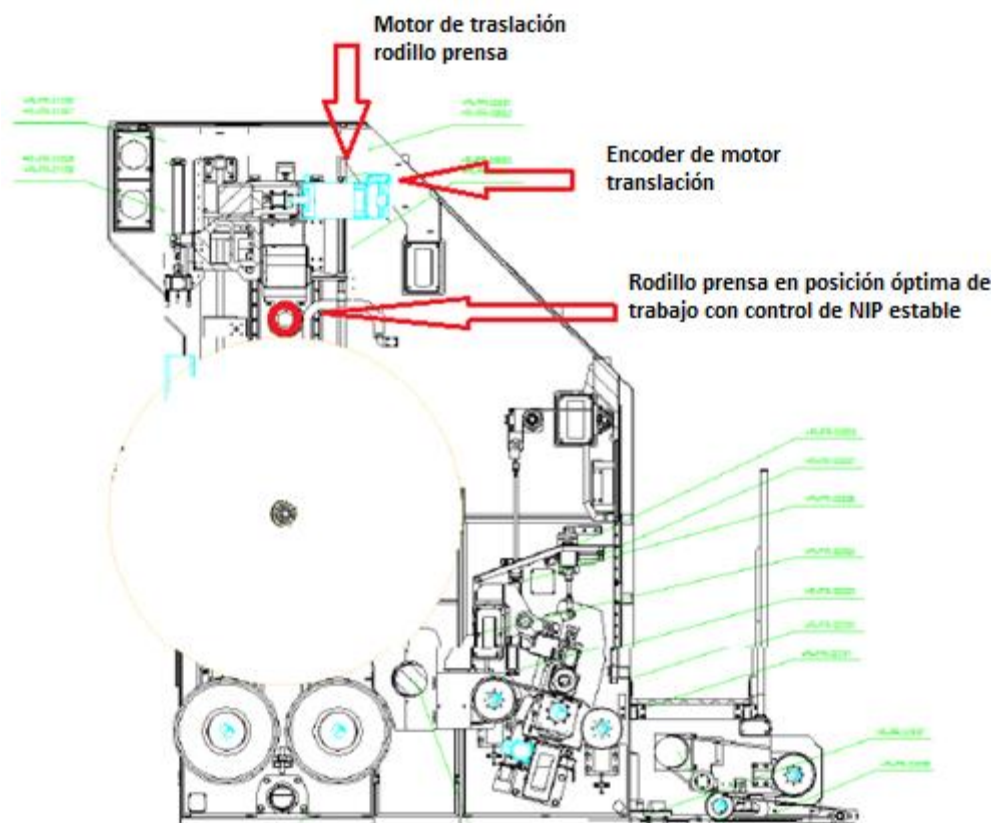


Figura 3-3: Funcionamiento normal del sistema en rebobinadora

En la Figura 3-3 se puede visualizar el funcionamiento normal del rodillo prensa, el cual trabaja por medio de control de NIP con celdas de carga, siguiendo a la bobina en formación durante todo su proceso.

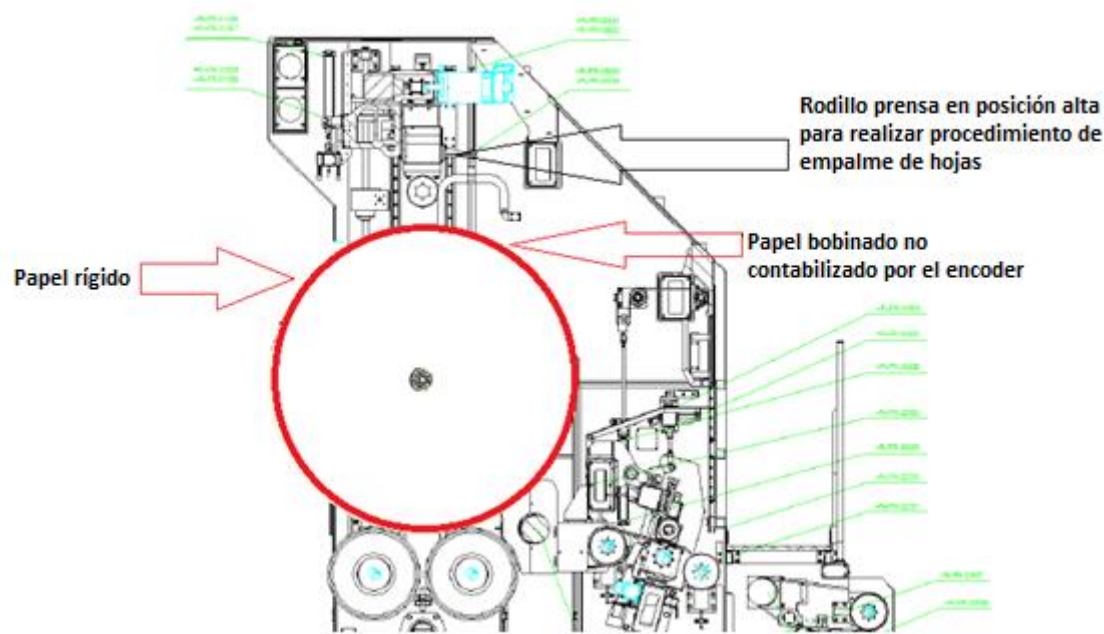


Figura 3-4: Indicación de papel desmantado no contabilizado

En la Figura 3-4, se observa el corte de hoja, y se aprecia que luego de este se sigue bobinando papel, generando un tramo de espesor que no es contabilizado por el sistema,

por lo tanto, tampoco por el encoder del motor de traslación, esto genera un gran inconveniente, lo cual, es muy difícil saber cuánto papel seguirá enrollado, esto debido a que la ubicación del corte puede variar y estar a 1 metro del Jumbo en formación como puede estar a 30 metros.

Es en este punto es donde radica el mayor problema, si bien es cierto que la fibra de carbono tiene muy buenas características de elasticidad, resistencia a la tracción, resistencia a la compresión etc., pero tiene una muy mala resistencia al impacto, y por lo ya antes mencionado, al tener un contacto directo entre la bobina en formación (ilustración 10), éste no soporta tal rigidez teniendo como consecuencia la destrucción del recubrimiento de fibra de carbono (Figura 3-6).

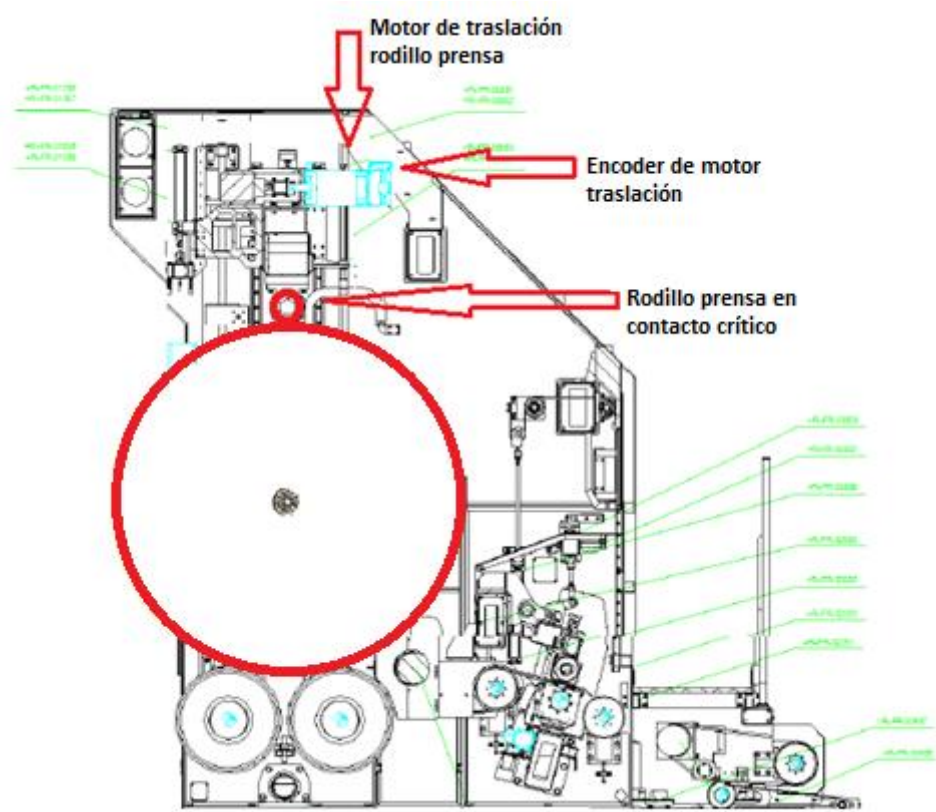


Figura 3-5: Indicación de contacto crítico entre bobina y rodillo prensa

Foto del rodillo prensa quebrado.



Figura 3-6: Imagen destrucción rodillo prensa

3.2 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LA REBOBINADORA

Luego de realizar el estudio del problema, se plasmó una lluvia de ideas para lograr dar respuesta a esta oportunidad de mejora, donde se visualizó controles con celda de carga, el cual ya existe, y al revisar los gráficos de tendencia de la carga al momento de ocurrir el problema, se encontró que no existe una variación excesiva de carga, por lo que el problema no se atribuye a un error de lectura ni a un exceso de NIP.

Posteriormente se analizó el problema utilizando un sensor óptico como “Sensor de seguridad”, el cual será el encargado de detener el descenso del rodillo prensa cuando viera algún obstáculo entre el emisor y el receptor, en esta solución se observaron 2 grandes problemas.

1. Al momento del descenso del rodillo prensa, cualquier cosa que obstaculizara la señal entre el emisor y el receptor haría detener el proceso, el problema es que esto no discriminaba alguna partícula y/o trozo de papel que pudiese estar en el aire, generando falsas alarmas al sistema.
2. El otro gran problema, es que cuando llegara a tener el contacto de NIP con la bobina en formación, vería esto como un “error”, ya que, para lograr el contacto necesariamente debe obstaculizar el receptor y el emisor, pero el sistema no sabría discriminar cuando llego a su posición correcta.

Por todo esto, y luego de estudiar las falencias, se decidió proponer la siguiente solución.

Como primera instancia, se constará con un PLC, el cual será el mismo utilizado en el primer problema, en él, repetiremos las señales del encoder del motor de traslación del rodillo prensa y la señal de SP impuesto por el operador (Esta señal es la que va como salida al Sinamic del motor de traslación del rodillo prensa), una vez cableadas estas señales realizaremos el siguiente principio:

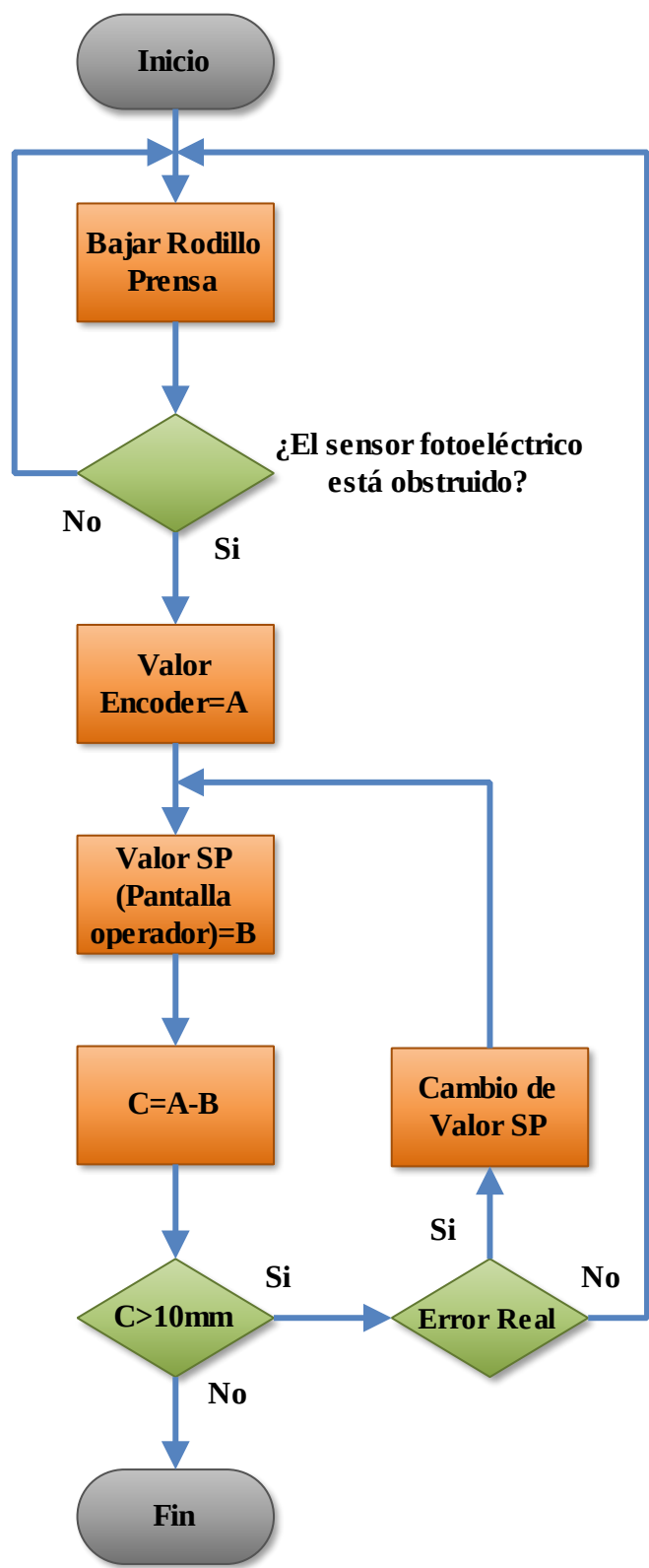


Figura 3-7: Diagrama de flujo para solución en rebobinadora

En este diagrama de bloques se explicará el concepto básico utilizado en la solución, en la cual se optimizará el sistema del rodillo prensa para eliminar la posibilidad de daño en este equipo tan crítico en el proceso.

Se instalará un sensor fotoeléctrico en la parte inferior del rodillo prensa, el cual tendrá su emisor en el lado mando y su receptor en el lado accionamiento como muestra la imagen, el láser del sensor estará a 10 mm del rodillo prensa.

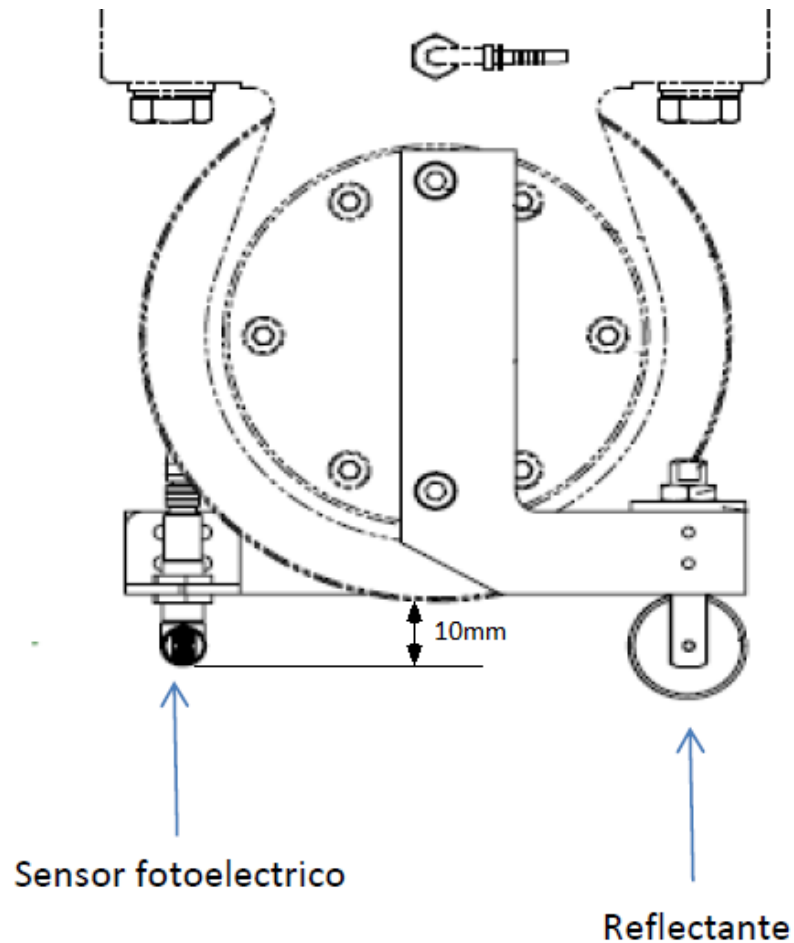


Figura 3-8: Posicionamiento sensor y reflectante

Este sensor, entrara en servicio al momento de tener el comando de “bajada” del rodillo prensa, luego de esto si el sensor es obstruido por cualquier elemento externo realizara un cálculo matemático simple para determinar si es una obstrucción real (que puede quebrar el rodillo) o una obstrucción ficticia (un trozo de papel en el aire).

Cálculo Matemático:

Donde

A=Valor del encoder

B=Valor de SP

C=Resultado

Por lo tanto

$C=B-A$

En caso de que el valor de “C” sea mayor que 10 significaría que el valor de SP es mayor a lo que físicamente debe llegar el rodillo prensa, es decir, podría existir una colisión y un riesgo de rotura en el rodillo, por lo que el sistema enviara una alarma que detendrá el motor de transacción del rodillo, en caso de que sea una falsa alarma por algún elemento externo que obstaculizó el sensor, el operador validará que es una medición errónea y continuara con el proceso, en cambio si es un error real, este sistema enviara un bit de falla hacia el Sinamics, el cual solo se autorizará cuando el operador cambie el SP desde pantalla operacional y pueda continuar el proceso.

En caso que, al momento de obstaculizar el sensor, el valor de del resultado entre la sustracción del SP con la medición del encoder sea menor que 10, significaría que el rodillo prensa no colisionara con la bobina, por lo que terminara el proceso sin activar ninguna alarma.

Los elementos utilizados para llevar a cabo este sistema serán los siguientes:

- Sensor fotoeléctrico Telemecanique XUK9LAPSM12
- Reflectante Telemecanique XUK1111
- PLC Siemens S7-1200
- Módulo DI Siemens 6ES7221-1BF32-0XB0
- Módulo AO Siemens 6ES7232-4HD30-0XB0

3.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS

3.3.1 Sensor fotoeléctrico

Los sensores son dispositivos que detectan una determinada acción o magnitud externa y la transmite de forma correcta.

En este caso, los sensores ópticos emiten un haz de luz que es reflejado por un espejo o reflectante hacia el mismo, el sensor trabaja como emisor y receptor a la vez.

Algunas de sus ventajas son: detección de objetos sin contacto, alta velocidad de respuesta, amplio rango de detección, baja influencia en campos magnéticos y, además, detección de objetos pequeños.

Ya mencionadas las principales ventajas de este tipo de sensores, se ha seleccionado un dispositivo con las siguientes características:

- Sensor fotoeléctrico
- Marca Telemecanique
- Modelo sensor XUK9LAPSM12
- Distancia de detección 14 metros
- Alimentación de 10 – 30 Vdc
- Salidas: PNP 1No/1Nc
- Conector M12, 4 pines
- IP67
- Diseño compacto de 50x50mm



Figura 3-9: Sensor fotoeléctrico Telemecanique XUK9LAPSM12

Como uso general la gama de productos XUK se caracteriza por ser compacta de 50x50 y hasta con detecciones de 50m.

Tipo de detecciones en sistemas industriales tales como: detección directa, réflex, polarizado, proximidad y proximidad con supresión de fondo.

En multimodo, significa que estos cinco sistemas de detección se encuentran en una única referencia, es una gran innovación que permite simplificar de forma considerable las opciones de configuración y mantenimiento.

Reflector para sensor

- Marca Telemecanique
- Modelo XUK1111
- Reflector de 50x50mm.

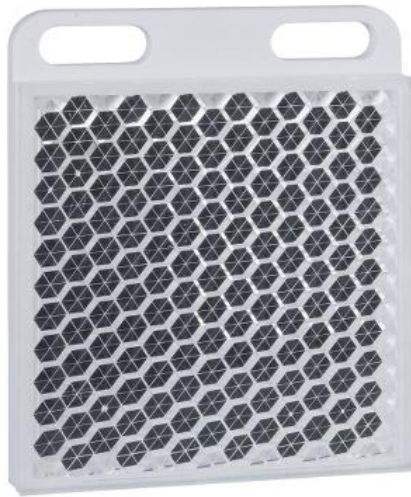


Figura 3-10: Reflectante Telemecanique XUK1111

Accesorios para la conexión.

- Soporte Marca Telemecanique, modelo XUZASW002.



Figura 3-11: Soporte sensor fotoeléctrico

- Conector codo hembra M12, 4 pines.



Figura 3-12: Conector hembra sensor M12, 4 pines.

3.3.2 Módulo Digital Input

Para obtener una compatibilidad idónea con el PLC SIMATIC S7-1200, se eligió un módulo de salida con las siguientes características:

Marca: SIEMENS

Modelo: 6ES7221-1BF32-0XB0



Figura 3-13: Modulo Siemens digital input

Información general

Designación del tipo de producto: SM 1221, DI 8x24 VDC

Tensión de alimentación valor nominal (DC): 24 V DC

Desde el backplane bus 5 V DC, máx.: 105 mA

Pérdida de potencia: 1.5 W

Salidas analógicas

Número de salidas analógicas: 8 DI

Tensión de entrada para señal “0”: 5 V DC, con 1 mA

Tensión de entrada para señal “1”: 15 V DC at 2,5 mA

Intensidad de entrada para señal “0”: 1mA

Intensidad de entrada para señal “1”: 2,5mA

CAPÍTULO 4 : CONCLUSIÓN

4.1 CONCLUSIÓN

A partir del desarrollo de este trabajo se puede ver cómo ha avanzado la tecnología en el tiempo, y a modo que existe una amplia gama de equipos de última generación que ayudan a dar solución a los diversos problemas lo más eficiente y eficazmente, en este caso, para lograr optimizar los tiempos improductivos en la Máquina Bobinadora de Papel Tissue.

La valorización del proyecto logra sumar un total de \$5.131.937 lo cual equivale a un 1,6% de las ganancias a lo largo del funcionamiento de la máquina, es un valor bastante menor en comparación a las pérdidas que superan los 90 millones de pesos, por lo tanto, se puede considerar que el proyecto es completamente factible en cuanto a las ganancias que se obtendrán.

Ambas dificultades, fueron un desafío encontrar sus falencias y lograr proponer mejoras. Los proveedores de máquinas en muchas ocasiones velan por la mayor productividad, dejando de lado lo que significa la seguridad de los trabajadores, siendo un punto relevante, ya que, un accidente laboral nos llevaría a una detención inesperada y con detenciones tan largas como la falla de un equipo crítico.

4.2 BIBLIOGRAFÍA

- Definiciones: <http://www.rae.es/>
- Profinet: <https://www.incibe-cert.es/blog/caracteristicas-y-seguridad-profinet>
- Focus S.r.l.: MANUAL DE USUARIO, Combinación de cortadora y rebobinado de Papel Tissue.
- Celda de carga: https://www.wika.cl/f1211_es_es.WIKA
- Amplificador de peso: <https://www.laumas.com/es/producto/tlb-profinet-io-transmisor-de-peso-digital-rs485-profinet-io/>
- PLC S7-1200: <http://www.telconet.cl/corp/es/control-industrial-integracion-plc-siemens-s7-1200-profinet/>
- Módulo análogo output:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6ES72324HD300XB0>
- Servoaccionamiento: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/el-futuro-de-la-industria/accionamientos/sinamics/Documents/Instrucciones-servicio-resumidas-Sinamics-V90-PTI-USS-Modbus-2017.pdf>
- Motor de imanes permanentes:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/1FK7060-2AC71-1KH0>
- Sensor: <https://www.schneider-electric.es/es/product/XUK9LAPSM12/sensor-fotoel%C3%A9ctrico-l%C3%A1ser---xuk---r%C3%A9flex-polarizado---sn-14m---10..30vcc---m12/>

CAPÍTULO 5 : ANEXOS

5.1 DESARROLLO ECONÓMICO

5.1.1 Desarrollo económico de los equipos.

Al paso de los años existen cada vez más necesidad de los consumidores por el papel Tissue, ya sea, higiénico, toalla o servilleta. El aumento va de acuerdo a lo consumido por los compradores, por ejemplo, Chile es el mayor consumidor en Latinoamérica con 8,3kg por persona.

Nace la necesidad de realizar un estudio de pérdidas y económico que involucra la producción del papel y sus equipos, así se podrá analizar si es factible realizar las modificaciones ya estudiadas anteriormente.

Valorización equipos solución Desenrolladores:

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Valor Unidad	Total
Celda de carga	Wika	F1211	2	\$ 218.406	\$ 436.812
Amplificador de peso	TLB	TLBPROFINETIO	2	\$ 275.100	\$ 550.200
Motor de imanes permanentes	Siemens	1FK7060-2AC71-1KH0	2	\$ 1.076.034	\$ 2.152.068
Servo accionamiento	Siemens	Sinamics V90	2	\$ 429.653	\$ 859.306
PLC	Siemens	S7-1200	1	\$ 419.552	\$ 419.552
Modulo AO	Siemens	6ES7232-4HD30-0XB0	1	\$ 267.130	\$ 267.130
Total:					\$ 4.685.068

Tabla 5-1: Valorización elementos de la solución en desbobinadores

La valorización de los equipos cotizados suma \$4.685.068, para la solución del control de NIP en los dos desenrolladores existentes.

Valorización equipos solución Rebobinadora:

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Valor Unidad	Total
PLC	Siemens	S7-1200	1	\$ 419.552	\$ 419.552
Modulo AO	Siemens	6ES7232-4HD30-0XB0	1	\$ 267.130	\$ 267.130
Modulo DI	Siemens	6ES7221-1BF32-0XB0	1	\$ 224.584	\$ 224.584
Sensor fotoelectronico	Telemecanique	XUK9LAPSMM12	1	\$ 194.298	\$ 194.298
Reflectante	Telemecanique	XUK1111	1	\$ 27.988	\$ 27.988
Total:					\$ 1.133.552

Tabla 5-2: Valorización elementos de la solución en la rebobinadora

La valorización de los equipos cotizados suma \$1.133.552, para la solución de la destrucción del rodillo prensa.

Cabe mencionar que el rodillo prensa tiene un valor de \$17.922 (USD), lo cual equivale a \$12.437.868 + IVA, sumando un total de: \$14.801.063

Finalmente se realizó un cuadro de valores con los equipos que involucran a las dos fallas, obteniendo un precio mayormente conveniente.

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Valor Unidad	Total
Celda de carga	Wika	F1211	2	\$ 218.406	\$ 436.812
Amplificador de peso	TLB	TLBPROFINETIO	2	\$ 275.100	\$ 550.200
Motor de imanes permanentes	Siemens	1FK7060-2AC71-1KH0	2	\$ 1.076.034	\$2.152.068
Servo accionamiento	Siemens	Sinamics V90	2	\$ 429.653	\$ 859.306
PLC	Siemens	S7-1200	1	\$ 419.552	\$ 419.552
Modulo AO	Siemens	6ES7232-4HD30-0XB0	1	\$ 267.130	\$ 267.130
Modulo DI	Siemens	6ES7221-1BF32-0XB0	1	\$ 224.584	\$ 224.584
Sensor fotoelectronico	Telemecanique	XUK9LAPSM12	1	\$ 194.298	\$ 194.298
Reflectante	Telemecanique	XUK1111	1	\$ 27.988	\$ 27.988
				Total:	\$5.131.937

Tabla 5-3: Valorización de ambas soluciones

Por lo tanto, se recomienda comprar los materiales para ambas problemáticas, ya que, se economiza utilizando el mismo PLC, el cual viene con sus Analog Input incluidas y las Analog Output que se utilizan en ambos casos.

5.1.2 Desarrollo estudio producción de papel en bobinadora

La máquina bobinadora lleva alrededor de 2 años y medio en funcionamiento y el total de papel procesado se puede visualizar en la siguiente tabla.

Descripción	Año			Total (Ton)
	2016	2017	2018	
Papel Base Higiénico Plano	8,865	89,186	41,484	139,535
Papel Base Higiénico Texturizado Fino	2,058	28,558	16,832	47,448
Papel Base Higiénico Texturizado Grueso	4,791	2,752	-	7,543
Papel Base Toalla Plano	11,28	22,57	120,55	154,4
Papel Base Toalla Texturizado Fino	-	-	0,692	0,692
Papel Base Toalla Texturizado Grueso	2,081	-	25,742	27,823
Total:	29,075	143,066	205,3	377,441

Tabla 5-4: Producción histórica Bobinadora

Se puede visualizar que el papel toalla plano es de mayor demanda por los clientes con una cantidad total de 154,4 Toneladas, a este le sigue el higiénico plano con 139,535 Toneladas.

A continuación, se observan las mismas estadísticas en porcentaje.

Descripción	Año		
	2016	2017	2018
Papel Base Higiénico Plano	30,49%	62,34%	20,21%
Papel Base Higiénico Texturizado Fino	7,08%	19,96%	8,20%
Papel Base Higiénico Texturizado Grueso	16,48%	1,92%	-
Papel Base Toalla Plano	38,80%	15,78%	58,72%
Papel Base Toalla Texturizado Fino	-	-	0,34%
Papel Base Toalla Texturizado Grueso	7,16%	-	12,54%
Total:	100%	100%	100%

Tabla 5-5: Producción histórica Bobinadora en porcentaje

5.1.3 Horas de producción.

Descripción	Año		
	2016	2017	2018
Papel Base Higiénico Plano	815,61	3414,93	1264,73
Papel Base Higiénico Texturizado Fino	189,34	1093,49	513,16
Papel Base Higiénico Texturizado Grueso	440,79	105,37	-
Papel Base Toalla Plano	1037,80	864,21	3675,22
Papel Base Toalla Texturizado Fino	-	-	21,10
Papel Base Toalla Texturizado Grueso	191,46	-	784,80
Total horas de producción:	2675	5478	6259

Tabla 5-6: Horas de producción históricas

A lo largo de los años que lleva en producción la máquina bobinadora, ha trabajado un total de 14.412 horas lo cual equivale a 600,5 días en funcionamiento.

5.1.4 Horas improductivas

Si la máquina estuviera trabajando de forma ideal 24 horas los 7 días a la semana, anualmente serian 8.760 horas de producción, lo cual, sabemos que es imposible, ya que, todo equipo debe tener sus mantenciones adecuadas. De acuerdo al programa de mantención, en la bobinadora se considera un día completo por mes para sus mantenciones, esto se refiere principalmente a limpieza de la máquina y sus equipos.

Si esto se llegara a cumplir, del total de horas anual se deben restar 288 horas que equivalen a 12 días en total, quedando una productividad ideal de 8.472 horas.

Entonces, en el año 2016 se considera la mitad de las horas, no así en el 2017 y 2018 que se trabajó de forma continua, obteniendo los siguientes resultados en condiciones ideales:

- En el año 2016 en condiciones ideales sin fallas ni desperfectos se debieron trabajar 4.236 horas continuas y en realidad el total fue de 2.675 horas, restando una cantidad de 1.561 horas improductivas, lo cual equivale al 36,8%.
- En el año 2017 las condiciones ideales debieron ser un total de 8.472 horas de producción, pero en realidad se trabajaron 5.478 horas, lo cual restan en cantidad de horas improductivas una cantidad de 2.994 horas, lo cual equivale al 35,3%, a esto se considerando que el primer semestre los operadores estaban en un proceso de training, la productividad se mantuvo en un pequeño descenso lo cual es positivo.
- Finalmente, para el presente año se trabajó un total de 6.259 horas, por lo cual la diferencia de improductividad fue de 2.213 horas, esto equivale al 26,1%, lo cual es muy positivo considerando que dentro del porcentaje de producción se consideran los cortes de hoja y la destrucción del rodillo prensa que comenzaron este año con mayor frecuencia.

Analizando cada corte de hojas toma al operador alrededor de 45 minutos, para lograr reestablecer el proceso completamente, este evento como mayor frecuencia ha ocurrido 7 veces en el día, esto se puede provocar por las propiedades del papel.

Posteriormente a los cortes de hoja tenemos la destrucción del rodillo prensa, si este se encuentra en planta la cantidad de tiempo para cambiarlo y lograr restablecer el proceso es de 7 horas, recordemos que este evento en el año 2018 ocurrió 3 veces. Ahora, si el rodillo no se encuentra en la empresa, el tiempo que se demora en llegar a planta desde el extranjero es de 3 días, lo cual equivalen a 72 horas.

5.1.5 Valorización del papel en bobinadora y tiempos improductivos

El papel tissue procesado en bobinadora tiene un valor de \$1.200 USD/Ton, lo cual equivale a \$832.800 pesos chilenos.

Descripción	Año			Total
	2016	2017	2018	
Papel Base Higiénico Plano	\$ 7.382.772	\$ 74.274.101	\$ 34.547.875	\$116.204.748
Papel Base Higiénico Texturizado Fino	\$ 1.713.902	\$ 23.783.102	\$ 14.017.690	\$ 39.514.694
Papel Base Higiénico Texturizado Grueso	\$ 3.989.945	\$ 2.291.866	-	\$ 6.281.810
Papel Base Toalla Plano	\$ 9.393.984	\$ 18.796.296	\$100.394.040	\$128.584.320
Papel Base Toalla Texturizado Fino	-	-	\$ 576.298	\$ 576.298
Papel Base Toalla Texturizado Grueso	\$ 1.733.057	-	\$ 21.437.938	\$ 23.170.994
Total:	\$24.213.660	\$119.145.365	\$170.973.840	\$314.332.865

Tabla 5-7: Valorización producción histórica

Se puede observar que a lo largo del proceso de producción de la máquina se ha obtenido una ganancia de \$314.332.865, a esto se le debe restar los repuestos y en el principal caso el valor del rodillo destruido.

Para obtener una referencia de cuanta perdida hubo en el último año, se considerará este con sus valores y se obtendrá un promedio del valor por hora de producción.

En el año 2018 con un total de 205,3 Toneladas y 6259 horas de producción, la cantidad producida por hora es de 0,033Ton/hr, lo cual equivale a \$27.316.

Ya con un valor promedio de la hora de producción, se puede cuantificar cuanto han sido las perdidas con el siguiente resumen de los cortes de hoja:

Descripción	Año		
	2016	2017	2018
Cortes de hoja	263	172	204

Tabla 5-8: Cantidad de cortes de hoja

Como ya se indicó anteriormente cada corte hoja suma 45 minutos, entonces se obtuvieron los siguientes resultados:

- En el año 2016 con una cantidad de 263 cortes de hoja lo cual equivalen a 493,125 horas de improductividad, hubo una pérdida de \$13.470.439, lo cual es una cifra bastante alta, siendo más del 50% de las ganancias de ese año.
- En el año 2017 con 172 cortes de hoja y con los operadores más capacitados en el área, se observa una pérdida de 322,5 horas lo cual equivale a \$8.809.564, lo cual equivale al 7,39% del total de producción.
- Finalmente, en el año 2018 se visualizan 204 cortes de hojas, una mayor cantidad en comparación al año anterior, esto se debe al cambio de operadores, puede influir la falta de capacitaciones. Con esa cantidad de fallas se suma un total de 382,5 horas improductivas, lo cual equivale a \$10.448.553.

El evento de la destrucción del rodillo prensa ha ocurrido un total de 5 veces, las cuales se cuantifican en la siguiente tabla:

Descripción	Año		
	2016	2017	2018
Destrucción rodillo prensa	1	1	3

Tabla 5-9: Cantidad de veces destrucción rodillo prensa

Como ya se mencionó anteriormente el valor del rodillo prensa sin IVA es de \$12.437.868, por lo tanto, las pérdidas a lo largo de estos 2 años y medio que corresponde a ese equipo es de \$62.189.340.

En resumen, las pérdidas económicas suman un total de \$94.917.896, lo cual equivale a un 30,2% de las ganancias totales.