



**Departamento de División de Estudios de Posgrado
e Investigación**

**“Actualización de Sistema de Frenado de Máquina
Cortadora de Papel”**

TESIS

**Para obtener el grado de:
Maestro en Ingeniería**

SUSTENTA:

**Carlos González Arredondo
G17610004**

Director de Tesis:

Dr. David Sáenz Zamarrón

Cd. Cuauhtémoc, Chih., a 01 de octubre del 2020





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Cd. Cuauhtémoc, Chih. 28/Septiembre/2020

OFICIO No. DEPI/20-II/023

C. CARLOS GONZÁLEZ ARREDONDO
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
NO. CONTROL: G17610004
PRESENTE.

Por medio del presente, le comunico que la División de Estudios de Posgrado e Investigación, le ha concedido la autorización para la titulación mediante **TESIS** para la obtención del grado de **MAESTRO EN INGENIERÍA**, solicitándole 5 ejemplares electrónicos de la tesis aprobada, cuyo título es:

"Actualización del Sistema de Frenado en Máquina Cortadora de Papel"

Y su contenido es:

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. MARCO TEORICO
3. MATERIALES Y METODOS
4. DESARROLLO Y RESULTADOS
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
6. REFERENCIAS
7. ANEXOS

ATENTAMENTE

"Engrandecer el espíritu para engrandecer la patria"


M.C. LAURA GABRIELA VILLANUEVA ROMERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Archivo



S.E.P.
INSTITUTO
TECNOLÓGICO
CD. CUAUHTÉMOC
DEPTO. DE DIVISIÓN
DE ESTUDIOS
DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



Av. Tecnológico #137 C.P. 31500
Cuauhtémoc, Chihuahua. Tel. 01 (625) 5811707
www.tecnm.mx | www.itcdcuauhtemoc.edu.mx



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Cd. Cuauhtémoc, Chih. **28/Septiembre/2020**

OFICIO No. **DEPI/20-II/021**
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE TESIS DE GRADO

C. CARLOS GONZÁLEZ ARREDONDO
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
NO. CONTROL: G17610004
PRESENTE.

Por medio de este conducto se hace de su conocimiento, que de acuerdo al Reglamento de la Dirección General del Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el Comité tutorial le hizo con respecto a su Tesis, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, cuyo título es:

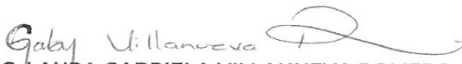
"Actualización del Sistema de Frenado en Máquina Cortadora de Papel"

El Departamento de División de Estudios de Posgrado e Investigación, le concede autorización para que proceda a la impresión de la misma.

Sin más por el momento, quedo de Usted

ATENTAMENTE

"Engrandecer el espíritu para engrandecer la patria"


M.C. LAURA GABRIELA VILLANUEVA ROMERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Archivo



S.E.P.
INSTITUTO
TECNOLÓGICO
CD. CUAUHTÉMOC
DEPTO. DE DIVISIÓN
DE ESTUDIOS
DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



Ave. Tecnológico #137 C.P. 31500
Cuauhtémoc, Chihuahua, Tel. 01 (625) 5811707
www.tecnm.mx / www.itcdcuauhtemoc.edu.mx



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Cd. Cuauhtémoc, Chih. **28/Septiembre/2020**

OFICIO No. **DEPI/20-II/022**
ASUNTO: ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

C. CARLOS GONZÁLEZ ARREDONDO
PRESENTE.

Por medio del presente se le informa que la tesis **"Actualización del Sistema de Frenado en Máquina Cortadora de Papel"**, ha sido aprobada y se autoriza la impresión de la misma, para que se realicen los trámites correspondientes para la presentación del examen de grado.

Sin otro particular por el momento, quedamos de usted:

COMITÉ TUTORIAL

DR. DAVID SAENZ ZAMARRÓN
DIRECTOR

M.C. DANIEL CHAPA NÚÑEZ
CODIRECTOR

M.C. NANCY IVETTE ARANA DE LAS CASAS
ASESORA

M.I.S. FRANCISCO RAMÓN IBARRA LUNA
ASESOR

c.c.p. Archivo



Av. Tecnológico #137 C.P. 31500
Cuauhtémoc, Chihuahua. Tel. 01 (625) 5811707
www.tecnm.mx | www.itcdcuauhtemoc.edu.mx

Carta de cesión de derechos

En la Ciudad de Cuauhtémoc Chihuahua, el día 28 del mes septiembre del año 2020, el que suscribe Carlos González Arredondo, alumno del Programa de Maestría en Ingeniería, con número de registro G17610004, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis y cede los derechos del trabajo titulado Actualización de Sistema de Frenado de Máquina Cortadora de Papel, al Instituto Tecnológico de cd Cuauhtémoc para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección carlos351.cg@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Carlos González Arredondo
Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer, por haberme permitido vivir hasta este día, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino, por fortalecer mi corazón en los momentos de debilidad.

A mis padres Alejandro González y Ofelia Arredondo, quienes, con su amor, paciencia, apoyo y esfuerzo, me han permitido crecer y desarrollarme hasta lograr llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre. Les doy gracias por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Oscar, Gloria, Silvia, Patricia, Raúl, Gabriela, Laura y Ofelia, por ser parte importante de mi vida, todos profesionistas, exitosos y grandes ejemplos a seguir, llenan mi vida de grandes momentos.

A mi Esposa Elssy Ortiz Meléndez, quien ha sido un apoyo fundamental para lograr los objetivos propuestos, le doy gracias por su amor y cariño, por apoyarme, darme ánimos, y ayudarme en un sinnúmero de tareas, por tenerme todo lo necesario para realizar mis actividades, por siempre alentarme a seguir y siempre confiar y tener fe en mí.

A mis 3 hijos Carlos, Diego y Ximena, quienes son la razón de que me levante cada día esforzándome por el presente y el mañana, cada vez que los veo siento más ganas de trabajar fuertemente y seguir con el objetivo de alcanzar mis metas, gracias

por ser la alegría del hogar y brindarme felices momentos. Este esfuerzo es por y para ustedes, mi mayor motivación.

A mis amigos, que gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño, dedicación y cariño, y a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta.

Mi agradecimiento a mis profesores en especial a mis Maestros Daniel Chapa, Nancy Arana, Cosme Santiesteban, Martin Berlanga, Carlos Santoyo, Gabriela Villanueva, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que logre crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por compartir conmigo su tiempo, conocimientos, paciencia, dedicación, apoyo incondicional y sobre todo por brindarme su gran amistad.

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. David Sáenz Zamarrón, principal colaborador durante todo este proceso, quien en su papel de Director de Tesis, me proporcionó su conocimiento, consejos, y enseñanzas, asesorándome durante el desarrollo de este trabajo.

Gracias por todo el apoyo y facilidades otorgadas en la Empresa y a mis compañeros. Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Agradezco a cada uno de los que contribuyeron en esta etapa por sus esfuerzos para que finalmente pudiera graduarme como todo un profesionista, me hicieron disfrutar el camino...

De corazón, Gracias.

DEDICATORIA

La vida se encuentra plagada de retos, uno de ellos es poder alcanzar un grado de Maestría, tras verme dentro de ella, me he dado cuenta de que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo en el que me he visto inmerso, sino para lo que concierne a la vida y el futuro.

Dedico este trabajo a mis padres, a mis suegros y a mi familia nuclear por apoyarme en todo momento, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en mi vida, sueños y metas. Son lo más cercano y querido que tengo.

Don Alex. Ofelia.

Nico. Mary.

Elssy.

Pillo.

Yeyo.

Xime.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el estudio para diseñar e implementar una mejora en control de frenado de rollos, que substituya al original manual de una máquina cortadora de papel para escritura e impresión Bond blanco, perteneciente a la empresa PONDERCEL S.A de C. V. el cual es utilizado para regular la tensión de la hoja de papel a cortar que circula por las estaciones de desbobinado de la máquina hasta alcanzar la zona de corte.

El motivo del análisis es que cuando las estaciones de frenado de diseño mecánico de las marcas Will y Strecker fallan o son mal ajustadas, se crean defectos de calidad como arrugas, bolsas, hojas con medidas mayores o menores al programado, además de ser ya obsoletas, tener 30 años de servicio, no haber refaccionamiento por piezas que ya no se construyen, la operación de diferentes personas, entre otras.

Se desea que un sistema apoye en ejercer control en esta parte de la conversión de papeles enrollados a extendidos de manera automática para muchas situaciones particulares y se ha solicitado el valioso apoyo del Departamento de Instrumentación para que ofrezca una solución y si resulta satisfactoria entonces implementarla en una máquina cortadora.

Los objetivos planteados fueron: diseñar e implementar para el proceso de cortar papel, un sistema de control de frenado que logre optimizar la fuerza de tensión de la hoja en las corridas de producción, reducir las variaciones en la medida de hoja cortada, mejorar la calidad del producto e incrementar la productividad de la máquina completa.

Para lograr lo anterior, se procedió inicialmente a revisar cómo se fabrica el papel, estudiar sus variables y características, revisar la filosofía del funcionamiento del sistema utilizado actualmente y compararlo con otras máquinas cortadoras en funcionamiento, luego, analizar las tecnologías aplicadas, para evaluar su desempeño, su viabilidad de aplicación, dimensionamientos, costos y refaccionamiento.

También se realizó un estudio de las bitácoras de operación de la cortadora para determinar y analizar los datos y variables que afectan al producto cuando el sistema original de frenado presenta anomalías y/o fallas.

De todo el análisis realizado, se logró primeramente modelar la parte del proceso de corte, que es el frenado del desbobinador, y conocer el comportamiento de la variable fuerza de tensión de la hoja para diferentes anchos de rollos, longitudes y gramajes, en seguida, se estudiaron y seleccionaron los equipos a adquirir de nueva tecnología, se probaron y caracterizaron en taller, se continuó con la construcción e implementación en campo del sistema, etapa de pruebas y ajustes con los materiales e instrumentos que ya se tenían en almacén y de acuerdo a las normas existentes y vigentes en planta y finalmente se evalúa el desempeño de la máquina con las mejoras instaladas y personal operativo entrenado en la nueva forma de funcionamiento de la zona de desbobinado.

De los resultados obtenidos derivan las siguientes conclusiones y observaciones:

- a) Se obtiene un alto impacto en la productividad, porque la máquina trabaja a mayores velocidades la mayor parte del tiempo.
- b) Se logró incrementar eficiencia de la máquina, al generarse menos rupturas del papel y no tener que realizar empalmes en modo paro.

- c) La confiabilidad se vio incrementada, porque las medidas ya no varían al estar las tensiones ajustadas en línea, mejora del proceso.
- d) Se registra baja notable de los defectos de calidad debidos a control de los frenos en la etapa de desbobinado de rollos.

El sistema implantado resulto muy efectivo, la gerencia del departamento de Conversión quedo convencida de la efectividad del nuevo control, porque será generadora de ahorros en tiempo y costos en varios rubros del proceso de cortar papeles extendidos, hacen notar que tuvo impactos favorables en muchas áreas.

También la seguridad del personal se vio mejorada porque los conjuntos de frenado no tienen partes móviles expuestas y no pueden quedar extremidades físicas atrapadas en medio de ellos.

ABSTRACT

This work shows the study to design and implement an improvement in roll braking control, to replace the original manual of a white Bond printing and writing paper cutting machine, belonging to the company PONDERCEL SA de CV, which is used to regulate the tension of the sheet of paper to be cut that circulates through the unwinding stations of the machine until it reaches the cutting area.

The reason for the analysis is that when the mechanical design braking stations of the Will and Strecker brands fail or are poorly adjusted, quality defects are created such as wrinkles, bags, sheets with measures greater or less than programmed, in addition to being already obsolete, they have 30 years of service, have no refurbishment for parts that are no longer built, the operation of different people, among others.

It is desired that a system supports the exercising control in this part of the conversion of rolled papers to spread automatically for many particular situations and the valuable support of the Instrumentation Department has been requested to offer a solution and if it is satisfactory then implement it in a cutting machine.

The proposed objectives were: to design and implement a braking control system for the paper cutting process that optimizes the tension force of the sheet in production runs, reduce variations in the cut sheet size, improve quality of product and increase the productivity of the complete machine.

To achieve the above, we initially proceeded to review how paper is manufactured, study its variables and characteristics, review the philosophy of the

operation of the system currently used and compare it with other cutting machines in operation, then analyze the applied technologies, to evaluate its performance, its feasibility of application, sizing, costs and refurbishment.

A study of the cutter operation logs was also carried out to determine and analyze the data and variables that affect the product when the original braking system presents anomalies and / or failures.

From all the analysis carried out, it was first possible to model the part of the cutting process, which is the unwinder braking, and to know the behavior of the variable tension force of the sheet for different roll widths, lengths and weights, then, The new technology equipment to be acquired was studied and selected, they were tested and characterized in the workshop, the construction and implementation in the field of the system continued, the testing stage and adjustments with the materials and instruments that were already in stock and in accordance to the existing and current standards in the plant and finally the performance of the machine is evaluated with the installed improvements and operating personnel trained in the new way of operating the unwinding area.

The following conclusions and observations are derived from the results obtained:

- a) A high impact on productivity is obtained because the machine works at higher speeds most of the time.
- b) It was possible to increase the efficiency of the machine, by generating fewer breaks in the paper and not having to make splices in stop mode.

- c) Reliability was increased, because the measurements no longer vary as the tensions are adjusted in line, improving the process.
- d) There is a notable decrease in quality defects due to control of the brakes in the roll unwinding stage.

The implemented system was very effective, the management of the Conversion department was convinced of the effectiveness of the new control, because it will generate savings in time and costs in various areas of the process of cutting extended papers, they noticed it had favorable impacts in many areas.

In addition, the safety of personnel was improved because the braking assemblies have no exposed moving parts and no physical limbs can be caught between them.

CONTENIDO

OFICIOS DE APROBACION	ii
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xii
CONTENIDO	xv
INDICE DE TABLAS	xviii
INDICE DE FIGURAS	xix
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xxii
ABREVIATURAS	xxiv
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Definición del problema	6
1.3 Preguntas de investigación	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo general	14
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 Hipótesis	16
1.6 Justificación	17
1.7 Limitaciones y supuestos	19
1.8 Descripción general de la empresa	21
2. MARCO TEORICO	27
2.1 Preliminares	27
2.2 Antecedentes	28
2.3 Fundamento teórico	31
2.3.1 La tensión	32
2.3.2 Principios de comportamiento de la tensión	34
2.3.3 Para qué sirve el control de la tensión	35
2.3.4 La tensión en el proceso de conversión	39
2.3.5 Cómo se mide la tensión del proceso	43
2.3.6 Metodologías que solucionan problemas similares	46
2.3.7 Evolución y comparación de los métodos de control	46
2.4 Fundamentos y tipos de control de la tensión en lazos	54
2.4.1 Problemática de la zona de tensión	55
2.4.2 Secciones de la máquina donde se da el control de tensión	56
2.4.3 Desbobinadores	57
2.4.4 Rebobinadores	60
2.5 Opciones de controles de tensión	60
2.5.1 Control de tensión de lazo abierto	61
2.5.2 Control de tensión de lazo cerrado	62
2.6 Sensores para calcular o detectar fuerza de tensión	64
2.6.1 Dancer roll	64
2.6.2 Sistemas acumuladores	68

2.6.3 Celdas de carga y transductores de tensión	69
2.6.4 Bailarines vs celdas de carga	72
2.7 La tensión y los materiales	73
3. MATERIALES Y METODOS	75
3.1 Descripción de materiales seleccionados	75
3.1.1 El sensor inductivo	75
3.1.2 El controlador	77
3.1.3 Convertidor voltaje / presión (E/P)	78
3.1.4 El Actuador final de control	79
3.2 Programador Field PG y sistema de programación	80
3.2.1 El programador Field PG	80
3.2.2 El TIA Portal	81
3.2.3 Step 7	82
3.3 Herramientas y materiales eléctricos	83
3.3.1 El multímetro digital	83
3.3.2 Simulador de 0-10V CD	84
3.3.3 Diagramas de conexiones eléctricas	85
3.3.4 Gabinete Eléctrico	87
3.4 Selección de materiales neumáticos	88
3.4.1 Tubing neumático	89
3.4.2 Racores neumáticos	90
3.4.3 Manómetros analógicos	91
3.4.4 Manómetros digitales	93
3.4.5 La válvula y electroválvula neumática	94
3.4.6 Servo válvula E/P	97
3.4.7 El actuador de freno	98
3.5 Descripción de métodos del proyecto	99
3.6 Elaboración de un cronograma de actividades	101
3.7 Técnicas de investigación usadas	102
3.8 Tipos de observación aplicadas	103
4. DESARROLLO Y RESULTADOS	105
4.1 Cambio del actuador de freno	105
4.2 Estaciones de operación en zona de desbobinado	107
4.3 Instalación del sensor de giro	108
4.4 Instalación de Servo válvula	109
4.5 Conexiones eléctricas y neumáticas	110
4.6 Mejoras en caja de conexiones	111
4.7 Sensor de la prensa de corte	113
4.8 Programación de PLC y pruebas	114
4.9 Estructura del programa en el PLC	116
4.10 Lógica digital y algoritmos matemáticos	118
4.10.1 Contador de revoluciones	118
4.10.2 Cambio de marca Word a Int	120
4.10.3 Cálculo de rpm's en prensa y desbobinadores	121
4.10.4 Convertir la marca que contiene las RPM de INT a Real	123
4.10.5 Cálculo de velocidad de la prensa	126
4.10.6 Perímetro de las bobinas.	127

4.10.7 Cálculo de diámetro de desbobinadores	128
4.10.8 Desescalamiento de la salida analógica	129
4.10.9 Filosofía para desescalamiento	130
4.10.10 Modificación de rango	130
4.10.11 Salida analógica	131
4.10.12 Botonera de reinicio de diámetro	132
4.10.13 Temporizador para acumulación de pulsos	133
4.10.14 Temporizador para proceso de bloques	134
4.10.15 Temporizador para actualización	135
4.10.16 Temporizador de velocidad mínima	136
4.11 Resultados	138
4.12 Visita del comité tutorial	144
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
5.1 Conclusiones	146
5.2 Recomendaciones	148
6. REFERENCIAS	150
7. ANEXOS	153

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Producción anual en cortadoras a extendidos	11
Tabla 1.2	Defectos de calidad en cortados	12
Tabla 1.3	Cortes que se procesan de línea.	20
Tabla 4.1	Tiempos muertos mantenimiento 2016	139
Tabla 4.2	Tiempos muertos mantenimiento 2019	139
Tabla 4.3	Tiempos muertos por zonas 2016	141
Tabla 4.4	Tiempos muertos por zonas 2019	141
Tabla 4.5	Toma de tiempos muertos por operador	143
Tabla 4.6	Fragmento bitácora de eventos	143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Máquina convertidora de papel de rollos a extendidos	9
Figura 1.2	Producciones de cortadoras a extendidos	10
Figura 1.3	El mercado de papeles cortados	12
Figura 1.4	Ubicación de la empresa	22
Figura 1.5	Áreas con las que cuenta la fabrica	23
Figura 1.6	Máquina de papel	24
Figura 1.7	Máquina cortadora a formato carta	25
Figura 1.8	Departamento de conversión	26
Figura 2.1	Definición de fuerza de tensión	32
Figura 2.2	Descripción de la tensión	33
Figura 2.3	Estiramiento de banda dirección máquina	35
Figura 2.4	Rollo con defecto tipo telescopio	36
Figura 2.5	Rollo con defecto cóncavo	36
Figura 2.6	Bandas alineadas antes del corte	37
Figura 2.7	Encorvamiento por tensión superior mayor	38
Figura 2.8	Encorvamiento por tensión inferior mayor	39
Figura 2.9	Zonas de tensión enrollar/desenrollar	41
Figura 2.10	Centro de bobina fijos	42
Figura 2.11	Medición de tensión	43
Figura 2.12	Sistema dancer roll	44
Figura 2.13	Medir tensión con bascula	45
Figura 2.14	Ejemplo de control manual de tensión	48
Figura 2.15	Brazo seguidor con rueda	49
Figura 2.16	Brazo seguidor con rodillo	49
Figura 2.17	Control por ultrasonido	51
Figura 2.18	Sensores de rpm para calculadora de diámetro	53
Figura 2.19	Cuadrantes de operación de freno en desbobinador (n/M)	58
Figura 2.20	Control de tensión de lazo abierto	62

Figura 2.21	Control de tensión de lazo cerrado	63
Figura 2.22	Control de velocidad con celda de carga	64
Figura 2.23	Sistema dancer horizontal	68
Figura 2.24	Unidad acumuladora con rodillos dancer	69
Figura 2.25	Rodillo libre y celdas de carga	70
Figura 2.26	Tipos de montaje de celdas de carga	71
Figura 3.1	Principio del sensor inductivo	76
Figura 3.2	Sensor inductivo seleccionado	76
Figura 3.3	PLC S7-300	77
Figura 3.4	Convertidor E/ P	78
Figura 3.5	Conjunto de freno neumático	79
Figura 3.6	Ventiladores y disipación de energía	80
Figura 3.7	Programador Field PG1	81
Figura 3.8	Multímetro digital	84
Figura 3.9	Calibrador de procesos	85
Figura 3.10	Diagrama de bloques conexiones eléctricas	86
Figura 3.11	Esquema eléctrico del divisor de voltaje	86
Figura 3.12	Gabinete eléctrico	87
Figura 3.13	Diagrama neumático de Servo válvula E/P	98
Figura 3.14	Cronograma propuesto de actividades	102
Figura 4.1	Frenos de pinzas obsoletas	105
Figura 4.2	Conjunto de nuevos frenos instalados	106
Figura 4.3	Sección desbobinado	106
Figura 4.4	Estación de mandos local desbobinador	107
Figura 4.5	Instalación del sensor de giro y placa	108
Figura 4.6	Detalle sensor de giro y placa	109
Figura 4.7	Instalación de Servo válvula	110
Figura 4.8	Caja de conexiones	111
Figura 4.9	Vista operador. Antes	112
Figura 4.10	Vista operador. Después	112
Figura 4.11	Sensor y tornillo actuador rpm's prensa	113

Figura 4.12	Detalle de sensor y tornillo actuador	114
Figura 4.13	Pruebas de algoritmos y salidas	115
Figura 4.14	Estructura general del programa	117
Figura 4.15	Estructura general base de datos 1	117
Figura 4.16	Sumador de revoluciones de la prensa	119
Figura 4.17	Sumador de revoluciones de desbobinador 1	120
Figura 4.18	Cambio de marca Word a Int	121
Figura 4.19	Cálculo rpm's en prensa	122
Figura 4.20	Cálculo rpm's en desbobinador 1	123
Figura 4.21	Conversión de marcas tipo entero a doble entero	124
Figura 4.22	Conversión de marcas tipo doble entero a real	125
Figura 4.23	Cálculo de velocidad lineal de prensa	126
Figura 4.24	Cálculo del perímetro de las bobinas	127
Figura 4.25	Cálculo de diámetro en desbobinadores	128
Figura 4.26	Desescalamiento salida analógica	129
Figura 4.27	Diseño del rango para desescalamiento	130
Figura 4.28	Comportamiento de presión/diámetro rollos	131
Figura 4.29	Salida analógica a primer desbobinador	131
Figura 4.30	Pulsadores de reinicio de diámetro de rollos	132
Figura 4.31	Reinicio de diámetro desbobinador 1	133
Figura 4.32	Temporizador para acumular pulsos	134
Figura 4.33	Temporizador para separar tiempos de muestreo	135
Figura 4.34	Temporizador para habilitar una actualización	136
Figura 4.35	Temporizador de velocidad mínima	137
Figura 4.36	Comparación de tiempos para instrumentos	140
Figura 4.37	Comparación de tiempos zona desbobinado	142
Figura 4.38	Vista de gabinete eléctrico y PLC S7-300	144
Figura 4.39	Vista nivel piso de sección de desbobinado de rollos	145

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Actuador	Dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.
Autómata	Sistema electrónico programable usado en control de ambientes industriales.
Bobina	Carrete que sirve para enrollar alrededor hilo, cable, alambre, papel u otro material flexible.
Confiabilidad	Asegurar la calidad y el buen funcionamiento de un producto.
Control	Es un mecanismo para regular algo manual o sistémicamente.
Controlador	Aparato usado para manipular procesos industriales.
Conversión	Área operativa donde se da acabado a los productos papeleros.
Convertidor	Se encarga de modificar la señal de entrada y la entrega en una señal de salida estándar.
Desbobinador	Parte de la máquina que se encarga de desenrollar un producto en bobina.
Empalmes	Unión de dos tramos de banda de papel para reparar una ruptura.
Instrumentación	Área especializada en control de procesos.
Laminado	Proceso industrial con el que se reduce el grueso del papel.
Lazo abierto	Tipo de control sin señal de retroalimentación.

Lazo cerrado	Tipo de control con señal de retroalimentación.
Mermas	Producto fuera de especificaciones de calidad.
PLC	Controlador Lógico Programable.
Rebobinador	Parte de la máquina que se encarga de enrollar un producto en bobina.
Resmas	Una unidad de medida tradicional que consta de 500 hojas de papel cortado.
Ruptura	Interrupción del desarrollo del proceso del papel.
Sensor	Dispositivo que capta magnitudes físicas y las convierte a señales eléctricas.
Servo válvula	Elemento electro neumático que convierte una presión neumática directamente proporcional a la señal eléctrica recibida.
Tensión	Fuerzas opuestas a que está sometido un cuerpo.
Transductores	Dispositivo que convierte una variable física a eléctrica.
Troquelado	Recortar con precisión diferentes materiales como el papel.

ABREVIATURAS

CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
mV	miliVolts
Gr	Gramos
M	Metros
PLC	Controlador Lógico Programable
Ton	Toneladas
PLI	Libras por pulgada cuadrada
TAPPI	Asociación técnica de la industria de la pulpa y el papel
RPM	Revoluciones por minuto
PID	Proporcional Integral Derivativo
E/P	Voltaje a presión
I/P	Corriente a presión
HMI	Interfaz hombre maquina
Mm	Milímetros
NPT	National pipe thread
segm	Segmento
Int	Entero

INTRODUCCION

El presente trabajo presenta la investigación e implementación técnica para modernizar la zona de desbobinado de rollos de una máquina cortadora de papeles extendidos, apilados en resmas de 500 hojas de papel Bond para escritura e impresión para obtener una producción mayormente continua y basada en la seguridad de los trabajadores, avalado por los Departamentos de Mantenimiento, Calidad, Conversión y Refacciones de acuerdo con las normas ISO ya implementadas en el área.

Las Fábricas de la Industria Papelera Mexicana, dedicadas a producir bobinas de papel Bond y productos cortados y extendidos para escritura e impresión, las cuales son utilizadas por otras divisiones como material para la fabricación de bolsas, libros, cuadernos y resmas de papel bond de diferentes tamaños y gramajes como carta, oficio y doble carta, 75,90,120,150 y 180 gr/m² entre otros productos fabricados principalmente en base a papel, necesitan estar a la vanguardia en tecnologías para mejorar sus procesos y poder elevar la calidad y confiabilidad de dichos productos.

Cuentan con gran cantidad de equipos, maquinaria y personal especializado en el proceso de la manufactura del papel, cuya principal función es el procesamiento de la pulpa nueva o reciclada, según sea requerido, para obtener los diferentes tipos de papel ofertados. En vista de las exigencias del mercado actual y el crecimiento de la tecnología, las empresas se ven constantemente en la necesidad de invertir en el aumento de su capacidad de producción y la modernización de sus procesos de manufactura, en busca de una mayor capacidad de abastecimiento al mercado, con productos de alta calidad.

Problemas generados debido a la antigüedad de la máquina que son 30 años y el desgaste de sus partes, limitaciones en la tecnología con la que fue diseñada, problemas de calidad de rollos, fallas operativas y trabajos de mantenimiento, se oponen a alcanzar volúmenes de producción más altos.

El departamento de Instrumentación que depende de la gerencia de Mantenimiento toma una parte crucial en la modernización de la maquinaria y la automatización de los procesos, buscando siempre implementar tecnologías y mejoras para que los equipos ofrezcan mayor rendimiento con menor mantenimiento, que los procesos de manufactura sean más eficientes, y menos dependientes de los operadores.

El equipo en el cual se llevará a cabo la investigación para implementar la mejora es una máquina cortadora de papel del área de Acabados, que convierte bobinas a resmas cortadas extendidas de 500 hojas, tiene incorporadas estaciones que se encargan de desenrollar controladamente la bobina de papel recién producida, y procesarla para obtener el producto terminado de acuerdo con las exigencias del cliente.

La calidad del producto depende en gran medida de la manera en la que es operada la cortadora, debido a esto y a las condiciones del control por ser manual que se estudia la implementación de un sistema de control de frenos automático, moderno y preciso, capaz de garantizar la uniformidad de los productos obtenidos, y reducir la intervención del operador en el proceso de desbobinado.

El papel para escritura e impresión es un material constituido por una delgada lámina elaborada a partir de pulpa de celulosa, una pasta de fibras

vegetales molidas suspendidas en agua, generalmente blanqueada, y posteriormente secada y endurecida, a la que normalmente se le añaden sustancias con el fin de proporcionarle características especiales, y se vuelve necesario no desperdiciarlas.

En la conversión de papel en rollos a papeles extendidos la variable crítica es la fuerza de tensión, ya que estabiliza el proceso de desbobinado y corte. Su control es muy importante, y por esto el personal de control de calidad realiza su análisis cada 20 minutos de las 24 hrs del día, o a petición expresa del personal operativo en cualquier momento si llega a presentarse alguna variación en el proceso. La máquina cortadora será descrita más adelante del documento.

De no realizar la modernización, los tiempos muertos por mantenimientos y paros no programados por fallas se seguirán viendo incrementados, las partes serán cada vez más difíciles de conseguir y la calidad y la velocidad se verán mermadas, impactando negativamente en la productividad total del equipo. Estos problemas se pueden solucionar con la implementación de un PLC que ejecute la filosofía de operación y que ayude a controlar y supervisar las variables críticas de esta parte del proceso. El presente trabajo está organizado y delimitado de la siguiente manera, se amplían los temas importantes y necesarios para la mejor comprensión del lector:

Capítulo 1 En esta sección, se presenta la situación general de la problemática detectada, se mencionan los elementos relevantes, se define el problema a investigar y la zona específica de la máquina sujeta a estudio, se abordan inicialmente los temas, se delimita el campo de acción y se presenta la propuesta de solución, se muestra después los objetivos, la hipótesis, la justificación y las limitantes para realizar la mejora.

Capítulo 2	En este apartado, se ubica el problema en el área de la Automatización Industrial, se definen los conceptos pertinentes, se describe brevemente las tecnologías usadas para solucionar ese tipo de problemas, se presenta una resumida historia de la planta, de la máquina y se indican los cambios a realizar, ventajas y desventajas de los métodos y equipos para las maquinas convertidoras de rollos a extendidos cortados y la teoría básica de Neumática y control por PLC. Es la revisión de la literatura.
Capítulo 3	En este fragmento del contenido, se revisa la literatura, se explica el cómo se realizó la investigación, las variables, la programación, los detalles técnicos y métodos para dar validez al trabajo, también se agrega información de equipos y materiales empleados en el desarrollo e integración de la mejora.
Capítulo 4	En esta sección del documento, se muestran el desarrollo y resultados de los objetivos, se justifican las limitantes, se comenta lo logrado después de la implementación del trabajo y la posibilidad de aplicarse este trabajo a otras máquinas convertidoras de papeles en rollo a extendidos y una discusión de estos.
Capítulo 5	En esta parte del contenido, se mencionan los logros obtenidos, y conclusiones a las que se ha llegado, también se agregan sugerencias para futuras investigaciones.
Capítulo 6	Sección destinada a mostrar la información correspondiente a la bibliografía revisada durante la investigación y que sirvió como base para la realización del proyecto.
Capítulo 7	Sección reservada para anexos.

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las fábricas Papeleras necesitan estar realizando mejoras tecnológicas que les aporten ventajas competitivas en el control de sus procesos. La fábrica Papelera Pondercel S.A de C.V. no está exenta de ello, en esta ocasión, su departamento de Conversión o también llamado Acabados, requiere modernizar sus máquinas en la zona de desenrollado para mejorar el control de desbobinado de los rollos, y así, disminuir los defectos de calidad e incrementar la productividad de sus máquinas, porque los reportes de producción y las auditorias de calidad así lo han indicado.

Se ha solicitado nuestra ayuda para que, mediante la innovación y mejoramiento del proceso, se logre el implementar un sistema moderno en la mencionada zona, que permita alcanzar los nuevos objetivos y metas que en la actualidad se requieren, tomando en cuenta la seguridad de la operación y los sistemas de calidad del producto ya implementados en el área.

1.1 Antecedentes

El interrumpir de improviso la fabricación de un producto puede tener graves consecuencias. Especialmente, durante la producción de papel, en la que es necesario que el proceso se realice de forma continua, debido a los recursos utilizados y a la calidad del producto, que debe cumplir con un conjunto de propiedades muy específicas y también con un programa de producción bien definido en tiempo de funcionamiento de máquina.

El problema fundamental es que la Máquina cortadora de papel para escritura e impresión tiene en sus estaciones desbobinadoras un sistema de frenos, los cuales presentan los siguientes problemas: son ya obsoletos, el control es manual, las partes mecánicas e hidráulicas ya no se consiguen, las bombas tienen fugas de líquido, su refaccionamiento ya es muy costoso debido a que ya no se producen y no se logran conseguir, sus diseños son antiguos y presentan baja eficiencia, los paros de máquina para reparaciones son frecuentes, en algunas ocasiones son tardados sus maquinados para reparar desgastes de piezas mecánicas y el operador requiere mucho de su tiempo ajustando las presiones para minimizar defectos.

El departamento de Calidad reporta que en sus hojas de verificación se presentan variaciones de medidas en los cortes durante el proceso y cambio de productos, a veces, también el material resulta trozado, doblado o marcado por las variaciones entre hojas, generándose merma por mala producción y no se puede recuperar.

Para el departamento de Mantenimiento es ya una necesidad imperante el realizar una actualización del sistema de control de frenos en las estaciones de desbobinado, ya que allí se detectó que es donde se crean defectos en el papel que afectan al corte y al producto final.

1.2 Definición del Problema

Se tiene una máquina cortadora con estaciones desenrolladoras de bobinas de papel bond, operarla implica mantenerse muy al tanto de las fuerzas de tensión de desbobinado en cada estación, pues al menor descuido el material se colgaba

por baja potencia de frenado, se rompía por exceso de la misma fuerza del freno, o los cortes quedaban con variaciones de medidas (a veces largos o a veces cortos).

Manejar dicha máquina tal cuál había sido el diseño de su fabricante, implicaba el familiarizarse con un sistema de ajuste manual con variables interrelacionadas, cuyos ajustes óptimos debían moverse continuamente mientras se desenrollaba y el diámetro de la bobina decrecía durante velocidades de producción variables. Esto hace que la operación de la máquina dependa fuertemente de la experiencia del operador, convirtiéndose por tanto en una fuente de inconsistencias más recurrentes para el departamento debido a que, en adición, 4 personas que trabajan en ese puesto en diferentes turnos y equipos.

¿Cómo hacer que las producciones en la máquina cortadora salgan de la manera correcta sin necesidad de estar al tanto de los ajustes de frenado en las estaciones? Con la implementación de un sistema de controlador de fuerza de tensión. El control automático de tensión es un sistema electrónico que se añade a las máquinas que trabajan con material laminado continuo como puede ser tela, papel, plástico o material compuesto. Estas máquinas suelen ser rebobinadoras / cortadoras / impresoras industriales.

Los sistemas de control de tensión automáticos tienen como misión el mantener el material a una tensión laminar adecuada y constante para poder realizar labores de rebobinado, desbobinado, corte, troquelado o impresión.

Para ello deben ser capaces de auto ajustarse al régimen de la máquina en todo momento sin intervención del ser humano. La mayoría de las máquinas cortadoras/rebobinadoras/impresoras elementales carecen de este sistema por una

cuestión de costos o disponen de uno que opera en modo manual. Un sistema de control automático de tensión le permite al operador operar en modo manual o en modo automático.

Para lograrlo, se propone el empleo de un controlador lógico programable o PLC, con su respectivo programa de acuerdo a la filosofía de operación, quien será el encargado de procesar las señales de entrada, y generar señales de salida durante el funcionamiento de la máquina, controlando la fuerza de tensión del papel, independientemente del estado de los rollos, de diferentes diámetros y anchos, y de la velocidad de la máquina, sin que la experiencia del operador sea un punto a tener en cuenta.

Se desarrolló una investigación para ofrecer una solución innovadora de los problemas del proceso. Mejorar la velocidad, calidad, y economía, serán puntos clave para lograr automatizar con éxito la fabricación de papel y la industria de conversión de papeles cortados.

Del estudio de la zona de desbobinado para identificar los problemas que se presentaban, se encontró que por el lado de Calidad se encuentran zonas en el papel con diferencias de calibre, zonas con diferencias de humedad, arrugas en el papel ocasionadas por problemas de tensión en las máquinas que fabrican los rollos denominadas rebobinadoras. Todas ellas impactan en la fuerza de tensión de frenado en la hoja de papel y deben ser adecuadamente reguladas por la estación desbobinadora para que llegue a la zona de corte en la mejor condición posible.

La Máquina cortadora de papel en estudio tiene 4 estaciones desbobinadoras, en las cuales residen equipos para frenado de rollos, gracias a esa

fuerza de frenado se controla la fuerza de tensión del papel, dichos equipos ya presentan problemas de los cuales resultan los defectos de calidad, la baja productividad y los tiempos para reparaciones y servicios de mantenimiento. En la figura 1.1 se visualiza la maquina cortadora de papel Valmet Strecker 2051 y sus estaciones que desenrollan hasta 4 bobinas de papel bond, que pueden tener como ancho mínimo 30 cms y máximo 160 cms. Puede procesar gramajes que van desde 50 hasta 600 grms. Sus patrones de corte típicos son de 57 X 87, 70 X 95 y 61 X 90 cms y la producción diaria de diseño es de 40 Ton/Día.

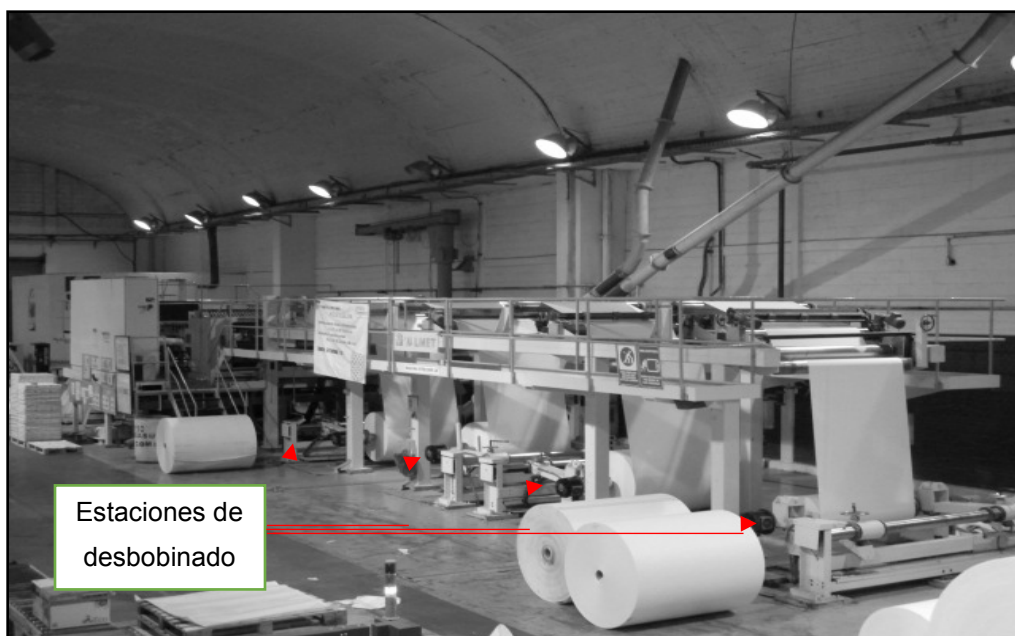


Figura 1.1 Máquina convertidora de papel de rollos a extendidos

Cuantitativamente, la producción de la cortadora desde su instalación, no ha podido elevar su volumen de producción debido a que se llevo a planta en el 1997, tenía solo 2 estaciones y en el 2001 se agregaron 2 estaciones más para elevar la capacidad hasta 40 Ton/Día. Como se muestra en la figura 1.2 en color rojo, la cortadora Strecker 2051 se ha caracterizado por su bajo rendimiento anual que se

fijó en 14,500 Ton/Año a partir del 2001, que se le integró 2 estaciones desenrolladoras más.

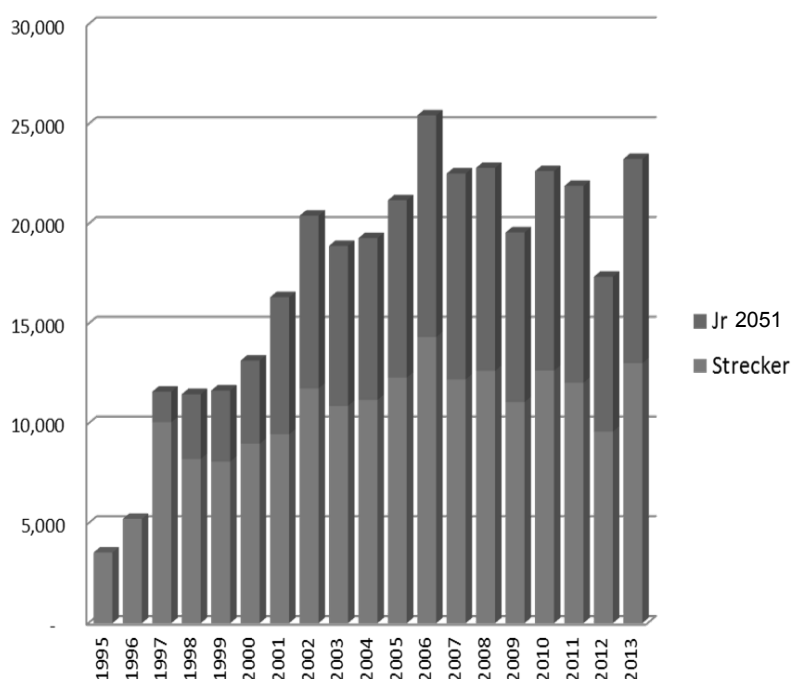


Figura 1.2 Producciones de cortadoras a extendidos

Como podemos apreciar en la tabla 1.1, las producciones de la cortadora 2051 presenta bajo nivel debido a la inexperiencia de operadores y tambien a los problemas de calidad, operación y mantenimiento por la antigüedad de la maquina y su diseño.

Tabla 1.1 Producción anual en cortadoras a extendidos

	Strecker	2051	Extendidos
META			
1995	3,54	0	3,54
1996	5,229	0	5,229
1997	10,065	1,537	11,602
1998	8,229	3,245	11,474
1999	8,095	3,562	11,657
2000	8,993	4,167	13,16
2001	9,461	6,872	16,333
2002	11,761	8,652	20,413
2003	10,887	8,017	18,904
2004	11,186	8,102	19,288
2005	12,304	8,883	21,187
2006	14,332	11,113	25,445
2007	12,213	10,316	22,529
2008	12,646	10,168	22,814
2009	11,081	8,496	19,577
2010	12,654	9,996	22,65
2011	12,045	9,865	21,91
2012	9,602	7,755	17,357
2013	13,022	10,231	23,253

Cualitativamente se encontró en el reporte anual de acumulado de defectos de calidad que han salido de planta y que se han registrado tipos de reclamaciones, como muestra la tabla 1.2, son difíciles de rastrear el tipo de defecto de calidad debido a que se engloban en un solo reporte mensual todas las máquinas y todos los reportes, para luego integrar un concentrado anual. Se recibe un reporte del comprador y es atendido por otra área que es atención a clientes y del cual no se tiene acceso por ser información confidencial de clientes. Se busca que se comporte alrededor del 6.4% de la producción total.

Tabla 1.2 Defectos de calidad en cortados

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DEVOLUCIONES	34	29	50	53	46	68	64
INFORMATIVAS	00	08	07	11	04	3	04
BONIFICACIONES	00	00	00	08	07	10	12
TOTAL	34	37	57	72	57	81	80
TON. DEVUELTAS	30.85	151.771	285.432	260.304	73.152	249.592	122.479
PRODUCTOS	18	18	27	22	16	26	23
CLIENTES	21	21	24	28	20	31	26
DEFECTOS	25	43	32	37	27	43	34
PRODUCCIÓN DEVUELTA (KG). POR CADA 10,000 TONELADAS PRODUCIDAS	235	1200	2156	1985	614	1899	880

Para el departamento de Mantenimiento es ya una necesidad imperante el realizar un rediseño del sistema de control de frenos en las estaciones de desbobinado, ya que allí se crean defectos en el papel que afectan al producto final y de no hacerlo se compromete la participación en el consumo nacional que tiene el comportamiento que muestra la figura 1.3.

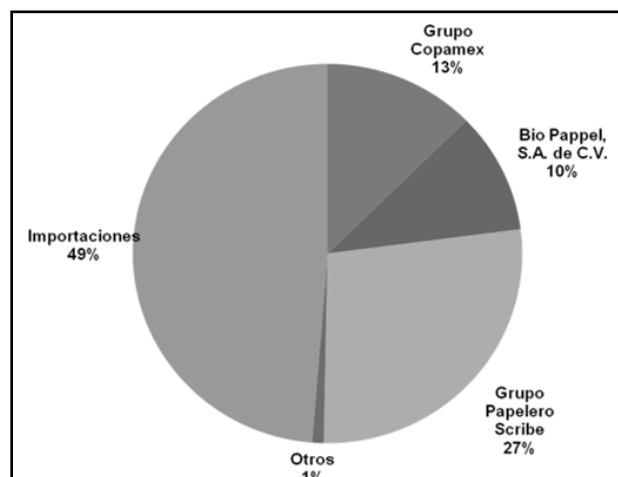


Figura 1.3 El mercado de papeles cortados

1.3 Preguntas de Investigación

Nuestro mundo ya no es el mismo de hace 30, 20, 10 o ni siquiera 5 años. En la actualidad, “La Única Constante es el Cambio”, por lo tanto, tenemos que adaptarnos a los cambios vertiginosos para no quedarnos fuera y seguir existiendo como una Planta Productora de Papel.

Lo que está pasando en el mundo son afectaciones de mercado de precios y/o mercado contraído, alta competencia, costos, servicios, calidad, innovación, alta dependencia de economía de EEUU, afectación de economías a nivel Global (economías de mercado altamente influenciadas), cierre de Empresas, desempleo, migración, problemas de salud mundial.

Es necesario que nos transformemos hacia una Empresa Altamente Competitiva en la medida de lo posible y desde nuestro departamento, para lograr sistemáticamente ventajas diferenciadas que permitan alcanzar, mantener y aumentar una participación de mercado en un entorno abierto al mundo, y con múltiples opciones para los posibles clientes. Con el mejoramiento de productividad en máquinas y variables de proceso, implementando sistemas de trabajo ENN, STOP; SGC, SGA, ENN, automatizaciones, y la mejora continua, con enfoque al cliente con todos los departamentos.

Particularmente en nuestra convertidora de rollos a extendidos, con la actualización del sistema de desbobinado de la cortadora Strecker 2051 gobernado por un controlador PLC y sus complementos, surge en la mente preguntas muy específicas para decidimos a llevar a cabo el estudio y la implementación del proyecto y son:

- a. ¿Se podrán reducir los defectos de calidad con la modernización del sistema de frenos de la zona de desbobinado de rollos de la maquina cortadora?
- b. ¿Se incrementará la productividad con la instalación de un controlador PLC?
- c. ¿Sera posible reducir los tiempos muertos de producción por fallas y reparaciones de mantenimiento?

1.4 Objetivos

La clave del éxito de la industria de procesamiento de papel es la productividad de los equipos. Por tanto, la automatización de los procesos es decisiva y necesaria para asegurar el buen rendimiento de las máquinas de procesamiento de papel.

1.4.1 Objetivo General

Lo que se pretende con la realización de esta investigación e implementación del proyecto es sustituir el sistema manual de frenos actual que tiene la maquina convertidora de rollos a extendidos cortados, por un sistema de control moderno y preciso, basado en PLC, con sus elementos de entrada, proceso y salida, actuadores finales de control, que sea capaz de automatizar el proceso de desbobinado para incrementar su buen funcionamiento y asegurar que no se presenten defectos por mala operación.

1.4.2 Objetivos específicos

¿Cómo vamos a lograr la automatización del desbobinador? Estudiando y analizando el problema y la máquina, para seleccionar adecuadamente los elementos a aplicar, hasta lograr que la cortadora complete el proceso de desbobinado automáticamente.

- a. Implementar un PLC siemens de fabricación reciente y última tecnología que cuenta con nuevas funciones, así como tener un máximo control de entradas y salidas, que realice ajustes de variaciones automáticamente.
- b. Estudiar e instalar un sistema regulable automático que cumplirá con la función de frenar los rollos independientemente en cada estación.
- c. Analizar la filosofía de operación, crear la lógica y secuencias que han de ejecutarse en el programa, su implementación y depuración.
- d. Seleccionar e instalar la instrumentación de campo y sensores más adecuados, que permitan leer datos de cada desbobinador, electroválvulas proporcionales que lleven a cabo la conversión de eléctrica a neumática y actuadores adecuados que terminen la acción de control.
- e. Lograr optimizar las variables críticas del proceso de desbobinado y corte del papel para evitar defectos realizando los ajustes finos que se presenten.
- f. Proveer seguimiento durante la operación y comparar resultados nuevos contra la situación anterior por voz de los operadores y administradores de producción y calidad.

1.5 Hipótesis

Como respuestas tentativas a las preguntas de investigación formuladas anteriormente, suponemos las siguientes hipótesis causales, las cuales intentaremos probar lo propuesto en ellas implementando el proyecto.

H1. Existe relación en la velocidad de la cortadora y la fuerza de frenado en la estación desenrolladora, que causa fallas por constantes ajustes manuales, la cual se puede caracterizar para poder ser controlada por un autómatas programable, liberando al operador de esta extenuante actividad.

H2. Existe diferencia en la disponibilidad de maquina antes y después de la implementación del controlador PLC, por ayudar a reducir considerablemente los defectos en el producto debido a disminución de tiempos muertos por roturas de la hoja en operación normal, causadas por problemas de fuerzas de tensión alta o baja en los desbobinadores debido a incorrectos ajustes operativos.

H3. Existe aumento de la calidad y confiabilidad de los productos con la automatización del sistema de frenado, causado por que el operador puede atender otras tareas y etapas de la máquina que siguen al control de tensión y frenado, como alineación de hojas antes de la prensa y corte, calidad del corte longitudinal y transversal, traslape de hojas, conteo de resmas e inserción de marcas, apilado en tarimas, limpieza del área, y con esto poder apoyar a los métodos del TPM y a las técnicas de orden y limpieza de las 5'S ya implementadas en el área de producción.

1.6 Justificación

Justificar es exponer todas las razones, las cuales nos parezcan de importancia y nos motiven a realizar un estudio. Se considera que este trabajo tiene justificaciones teórica y práctica, porque se realiza primero una investigación, se revisan las soluciones probables y después se da una implementación de automatización, su desarrollo ayuda a resolver el problema que se considera muy importante.

La relevancia de esta automatización se enfoca en satisfacer la necesidad que surge a partir de la problemática generada por el proceso de diseño obsoleto y ajuste manual con el que se realiza el desbobinado de los rollos de papel, es por eso que se requiere un rediseño de la sección de entrada de la máquina cortadora.

Las razones para realizarlo son que se requiere garantizar la calidad de sus productos, incrementar la productividad, que es una de las principales dificultades que se presentan a diario y que juega un papel fundamental en el cumplimiento de metas, el propósito es lograr productos dentro de especificaciones, asegurar la calidad y tener indicadores de productividad cercanos a los planes de producción, a corto plazo.

Debido a que la empresa también busca bajar sus gastos de operación mediante implementación de este tipo de proyectos y otras metodologías, resulta beneficioso a trabajadores, maquinas, seguridad y medio ambiente el lograr resolver este problema, y al negocio le conviene porque coadyuva en tener un ambiente de trabajo mejor, más seguro y más amigable de operar, por lo anteriormente descrito, la solución que se propone tiene alta relevancia en varias áreas, hasta en

bonificaciones ya que todos deseamos mejores prestaciones como una participación de utilidades más alta, generando motivación y participación de trabajadores y por ende, satisfacción a mediano plazo.

Si hacemos la implementación del sistema propuesto, mejorará la eficiencia total de la cortadora por impactar positivamente la productividad, bajaran los tiempos muertos, habrá menores desperdicios, mermas y retrabajos, repercutiendo positivamente en las metas, se beneficiará el empresario al obtener desempeño mejorado de su máquina e inversión. El costo beneficio del proyecto se verá reflejado en la revisión de indicadores diario, mensual y anual.

Las implicaciones prácticas de la actualización propuesta es que cuando esté totalmente funcional y se obtengan los logros pensados, nos ayudara a resolver problemas presentes o que surgiera en un futuro en esta máquina cortadora o en las demás, ya que existe otra cortadora a extendidos y tres más a formatos pequeños y las herramientas para su diagnóstico son más entendibles y amigables.

Nuestro estudio y trabajo tiene un alto valor teórico debido a que puede ser aplicable a otras máquinas cortadoras del grupo con la experiencia y practica de haberlo realizado con personal interno que tiene la capacidad y disposición de realizar un trabajo de este tamaño.

¿Por qué realizar la implementación nosotros?, esto se debe a que en el mercado existen máquinas mucho más sofisticadas, tecnologías integradas costosas, difíciles de adaptar a secciones de máquinas obsoletas, también hay equipos de integradores de sistemas e ingeniería externos, que a la empresa no le resulta rentable adquirir, se ahorra una fuerte suma de dinero.

¿Para qué realizar la actualización?, para alcanzar mejores productividades, sufragar las necesidades detectadas, alcanzar las metas fijadas. Ganar más, estar más cerca de lo que el cliente quiere.

1.7 Limitaciones y Supuestos

El periodo de análisis e implementación se llevará a cabo en el año 2018 en la ciudad de Anáhuac Chihuahua dentro de las instalaciones de planta papelera Pondercel SA de CV, en el departamento de instrumentación y en la maquina Strecker 2051 que pertenece al área operativa de conversión o acabados.

Las limitaciones de información se debieron principalmente a la dificultad para obtener históricos de defectos de calidad, para poder indicar cualitativa y cuantitativamente los defectos que se habían registrado, por ser información de carácter confidencial del departamento de calidad y de la empresa.

Las conclusiones únicamente son efectivas para la empresa y maquina cortadora, en esta ocasión, aunque sus resultados puedan ser utilizados por otros procesos y productos, como supuesto, se condiciona al sistema a implementar para funcionar en la convertidora cortadora de rollos a extendidos, que puede cortar una gran cantidad de gramajes de 75, 90, 120, 150 y 180 gr/m², sin embargo, los formatos más comunes que se cortan son los mostrados en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Cortes que se procesan de línea.

57 X 87 cms.	60, 68, 75, 90, 105 y 120 grs./m2
61 X 90 cms	60, 68, 75, 90, 105 y 120 grs./m2
70 X 95 cms	60, 68, 75, 90, 105 y 120 grs./m2
50 X 65 cms	150 y 180 grs./m2

De manera general, este sistema se puede aplicar en empresas y procesos de industrias papeleras, cartoneras, imprentas, films de plástico, bolsas, kraft, telas, bandas, plásticos y dondequiera que se requiera convertir productos en rollo a extendidos y cortes, se puede aplicar a rebobinadoras de materiales flexibles y a máquinas que necesiten controlar una fuerza de tensión constante.

Las consecuencias de no realizar el proyecto serán que la maquina continuará degradándose por la edad, fallas cada vez más difíciles de reparar, y seguir en la baja de los indicadores de velocidad, producción, calidad y eficiencia de equipo.

El diseño y construcción si es viable, se desarrollará con personal de los departamentos y materiales físicos, las limitantes serán:

- a. Datos y criterios, de los procesos, análisis y resultados públicos para la selección de materiales y equipos que la propuesta requiere.

- b. Existencia de materiales, que se tengan en almacén como mangueras, racores, cables, clemas, conectores, guías, protecciones para cableados, fusibles, fuentes, PLC's que son repuestos de otras máquinas y que se pueden emplear abaratando el costo inicial.
- c. Recurso humano, todo con personal de planta, son los Ingenieros en Instrumentación y control de procesos, quienes están fuertemente capacitados en programación e instrumentación de campo, también en programación de autómatas, entre otras especialidades, para que realicen el estudio, selección de partes, la ingeniería, la implementación y el seguimiento.
- d. Recursos financieros de la mano de refacciones, para adquirir las partes tecnológicas nuevas que se necesiten implementar, limitadas al mercado Mexicano.

1.8 Descripción general de la empresa

Pondercel SA de CV es una empresa que se dedica a la producción de papeles bond de primera, para el mercado de escritura e impresión. Se encuentra localizada en el poblado de la ciudad Anáhuac, Chihuahua, a 100 Km. al suroeste de la capital del estado y 480 Km. al suroeste de El Paso, Texas, como muestra la Figura 1.4. La ubicación se decidió principalmente debido a la abundancia de agua en el subsuelo y por su cercanía a la Laguna de Bustillos para el envío de sus aguas residuales, previo tratamiento de estas. El área total de la propiedad es de 1,038 Hectáreas, actualmente 317 de éstas son para uso Industrial. Anexo a la Planta existe un Poblado con 288 casas.

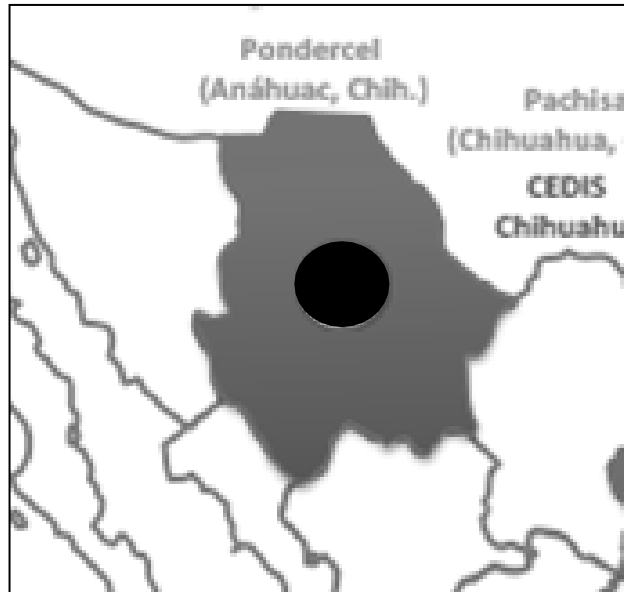


Figura 1.4 Ubicación de la empresa

Se cuenta también con un Aeropuerto: dos pistas en forma de cruz de 942 m de largo por 14 m de ancho; un Estadio de Béisbol; 3 canchas de fútbol; dos Escuelas; un Hospital (IMSS), dos hoteles, un comedor industrial y un Club para esparcimiento de los trabajadores de la Planta como se aprecia en la figura 1.5.

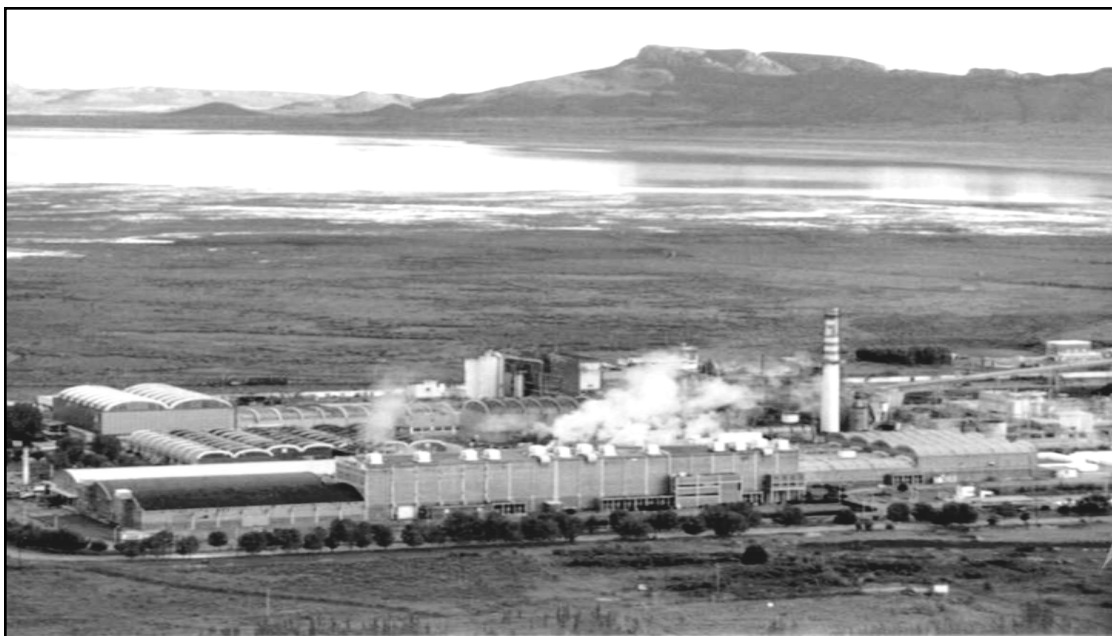


Figura 1.5 Áreas con las que cuenta la fábrica

Está Integrada al sector de Manufactura y en particular a la Industria de la Fabricación de Papel, esta internamente dividida en grandes áreas como son Unidad Celulosa, Unidad Papel, Conversión, Unidad Servicios, PTAR, pozos, Viveros, Poblado. Cuenta con 660 personas en estructura directa de las cuales 196 son no Sindicalizados y 464 Sindicalizados (CTM). Implementa sistemas de trabajo que favorecen el Equipo de Trabajo y Trabajo en Equipo, encaminados hacia Multi habilidades (Equipos Naturales de Negocio). Emplea la filosofía de una Organización abierta al aprendizaje y a la “Mejora Continua”.

Unidad Celulosa arrancó con una capacidad inicial de 35,000 toneladas por año de fibra en octubre de 1955, siendo oficialmente inaugurada el 19 de diciembre de 1956. Actualmente área en desuso y en proceso de chatarrización y desmantelamiento.

Unidad Papel Inició sus operaciones en 1992 produciendo papeles para Escritura e Impresión en un proceso alcalino, con un mercado potencial con los Estados de Texas y California. La Máquina de Papel que se muestra en la figura 1.6, tiene capacidad de 170,000 ton por año, opera a una velocidad de 1000 mts/min, su rango de peso base es de 40 hasta 180 grs/m², produce principalmente Papeles Bond y también produce papeles para el Mercado de Escritura e Impresión. Su proceso alcalino utiliza Carbonato de Calcio Precipitado con el que es posible mejorar la blancura, la opacidad, la estabilidad dimensional y calidad de impresión. Existe una Planta Satélite desde donde el PCC se envía. En noviembre del 2011 se realiza el proyecto de Incremento de velocidad en Máquina de Papel (de 135,000a 170,000 Ton) mediante la instalación de la Prensa de Zapata y de equipo periférico.



Figura 1.6 Máquina de papel

Se cuenta con un área de Acabado también llamada Conversión donde es posible procesar toda la producción de la Máquina de Papel. Su objetivo es convertir papel en rollos a producto terminado (cortados) como son: tamaño carta, oficio, doble carta, extendidos, etc. Cuenta con maquinaria muy sofisticada en el

ramo de la industria papelera. Con la transformación que sufre el papel en rollos a papel cortado, se les da un valor agregado a los productos, haciendo de esta manera que el departamento de conversión juegue un papel muy importante en la empresa como se aprecia en la figura 1.7. A la maquinaria que corta formatos pequeños se les nombra Will que es la marca del fabricante, la planta cuenta con 3 máquinas para estos formatos, y están integradas a un proceso lineal donde el producto es empaquetado y entarimado como se observa en la figura 1.8.



Figura 1.7 Máquina cortadora a formato carta

Al departamento también lo integran 2 máquinas para cortar papel extendido llamadas cortadoras Strecker y la envolvedora Wrapmatic que es donde se envuelven las resmas procesadas por dichas máquinas.



Figura1.8 Departamento de conversión

Se cuenta también con una maquina sorteadora de papel, utilizada para los papeles de colores y con una máquina de sellado termo encogible llamada Smipack. El área de conversión es la parte final del proceso de producción de papel, las etapas que siguen son embarques y centros de distribución.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

A continuación, el lector encontrará las bases teóricas, la terminología y el área del conocimiento específicos de la producción y conversión de papeles, que es básica para entender el vocabulario de este estudio, porque el problema a resolver se encuentra inmerso dentro de dicha área de conocimiento técnico de la industria papelera. Iniciamos con una presentación de trabajos anteriores y búsqueda de alguna patente dentro del área indicada que se encuentran en la literatura publica y libre, definiremos los conceptos teóricos pertinentes y la mecánica sobre las cuales se basa el diseño y la implementación del proyecto propuesto, se verán los principios, evolución, características, ventajas y desventajas y como se está usando en la actualidad.

2.1 Preliminares

Todas las operaciones de conversión y corte/rebobinado requieren de un sistema de desbobinado. Los sistemas de corte y rebobinado son considerados de importancia capital, pero al sistema de desbobinado no se le da la importancia que merece. Aunque es a menudo identificado como una función simple, en realidad la selección apropiada de un sistema de desbobinado es crítica para toda la productividad de la conversión. Si se implementa un controlador para la zona de desbobinado para aplicaciones específicas, se asegurará un máximo desempeño y productividad.

Cuando se diseña una maquina convertidora desde cero, el primer paso consiste en establecer el criterio para un diseño básico de desbobinado, para lo cual se deben determinar los siguientes elementos: Materiales a ser procesados, clases

(compuestos, extensibles, no-extensibles), rango de peso base y de espesor para cada material, diámetros y pesos de los rollos, velocidad de operación, tensión (resistencia al estiramiento de los materiales), tamaños y materiales del centro o núcleo, variaciones de la longitud, diámetros internos y sus tolerancias, y diámetros externos, sistema de entrega de rollos. En nuestra situación, la maquina tiene 30 años de diseño, construcción y operación, el proyecto está limitado únicamente a mejorar el control en la zona de desbobinado de rollos, usando los materiales, medidas y productos que produce la máquina.

La vieja frase tomada de la sabiduría popular “Aprendiz de todo, maestro de nada” bien podría aplicarse a las operaciones de desbobinado. Entonces, es muy importante ser minuciosos cuando se especifiquen los rangos necesarios para lograr costos menores y el mejor desempeño de la implementación de un nuevo sistema de control de frenado para el sistema de desbobinado.

2.2 Antecedentes

La guillotina es una máquina que fue utilizada en tiempos pasados para aplicar penas de muerte mediante decapitación, conocida por su uso durante la revolución francesa principalmente. Aunque está asociada popularmente con Francia y la Revolución de 1789, durante la cual ocupó un papel fundamental (especialmente en el periodo del Terror), se utilizó también en otros países europeos como Reino Unido, Bélgica, Suecia, Italia y Alemania hasta bien entrado el siglo XX. (Wikipedia, 2008).

Una cuchilla para cortar papel por presión es la parte plana de una herramienta o de un arma que tengan normalmente un filo o un extremo afilado,

hechos generalmente de metal como el acero para cortar, apuñalar, rebanar, arrojar, empujar, o golpear, La guillotina fue patentada en 1844 y 1852 por Guillaume Massiguot, aunque estaba en uso desde 1830. La guillotina de papel es principalmente utilizada en las artes gráficas e industrias papeleras, aunque también podemos encontrarla en otro tipo de empresas, organismos públicos y centros educativos, para cortar grandes volúmenes de papel que necesitan por encargos de trabajo (Wikipedia, 2008), destinada a cortar materiales como cartulinas y cartón en rollo o extendidos también llamados laminados.

La guillotina de papel consta de una cuchilla afilada y escuadras que nos dan la posición del papel. El mecanismo de una guillotina de papel no es muy complejo, pero bien es ciertos que las guillotinas de papeles hoy en día han evolucionado mucho y con ello las tecnologías que utilizan para cortar, aunque las partes antes mencionadas continúan siendo básicas. Los primeros que vieron el potencial de esta máquina y se preocuparon por mejorarla fueron las empresas Form & Krause de Alemania, Furnival en Inglaterra y Oswego & Seybold de EEUU (Idealsystems, 2020).

Todo trabajo impreso pasa por la fase de ser cortado con guillotina de papel. De hecho, esta fase se produce antes y después del acabado. Como ven, no sería posible tener un taller de artes gráficas sin guillotinas de papeles, y dependiendo del tipo de trabajos que se hagan en dicho taller, se necesitarán unas guillotinas de papeles u otras, vamos a nombrarlas como: manuales, automáticas, semiautomáticas y programables (Idealsystems, 2020).

En la industria moderna del papel, se utilizan grandes máquinas para cortar grandes pilas de papel, cartón, o materiales de características parecidas. Estas máquinas operan mediante un dispositivo similar al cual se deriva su nombre

(Wikipedia, 2008); las hojas de corte se desplazan en forma vertical en sentido ascendente y descendente. Fabricantes tales como Polar, Valmet, Strecker y Will, de Alemania todas, fabrican máquinas capaces de cortar hojas de hasta 430 cm de ancho.

La selección adecuada de un sistema de corte y desbobinado incide en gran medida en la eficiencia durante conversión a altas velocidades. El desbobinado debe proveer tensión de la banda para su direccionamiento, ensanchamiento, estabilidad de ancho de banda en máquinas. Los materiales de módulo bajo o altamente extensibles necesitan ser desbobinados con la menor tensión posible. El rollo nunca debe ser desbobinado a una tensión mayor que la usada para bobinarlo antes, con el objetivo de prevenir defectos en el rollo.

La selección y tamaño del freno del desbobinador se basa en los requerimientos máximos de torque. $\text{Tensión (Caballos de potencia)} = \frac{\text{ancho de banda (pulgadas)} \times \text{tensión (\#/pulgada)} \times \text{velocidad (pie/min)}}{33,000}$. Para aplicaciones de baja tensión y bajos caballos de potencia, los frenos de partículas magnéticas proveen un excelente frenado y un control suave. La mayoría de las aplicaciones de conversión usan frenos de disco enfriados por aire, que son fáciles de mantener y no requieren de enfriamiento externo.

Generalmente los desbobinadores sin ejes tienen frenos en ambos lados, lo que permite una distribución del torque en ambas orillas del centro y proveen centrado del rollo en ambos lados. En desbobinadores de recoger desde el suelo, permite además el uso de frenos de diámetro pequeño para que los rollos de diámetros pequeños puedan ser recogidos del suelo. Para aplicaciones de más altos caballos de potencia de tensión, sin embargo, especialmente cuando se opera a velocidades más lentas, la disipación de calor de estos frenos puede no ser la

adecuada, requiriendo entonces frenos de disco de enfriamiento con agua. El agua de enfriamiento automáticamente se aísla a cero para prevenir problemas de rocío. Para el tema de frenos neumáticos de disco de fricción utilizados para controlar la tensión en el desenrollado de la bobina como elemento final, se encontró que en la actualidad existe una línea completa de diferentes potencias, tamaños, características y configuraciones Ideales para corrugadoras, cortadoras de papel y muchas otras máquinas de conversión. La función principal de los frenos es convertir la energía mecánica en calor, que luego se disipa en la atmósfera. Los frenos de disco tradicionales enfriados por aire son en realidad intercambiadores de calor muy pobres, que dependen en gran medida de una alta velocidad de rotación, un gran diámetro de disco y una gran superficie radiante para disipar el calor. A menudo, estos frenos se sobrecalientan, lo que reduce la eficiencia de los frenos al tiempo que aumenta el ruido y el polvo (EE, 2020).

Para resolver este problema, la mayoría de los fabricantes de frenos simplemente aumentan el tamaño del disco, creando un freno innecesariamente grande. Es fácil actualizar los frenos de cualquier portarrollos. La tecnología moderna los ha hecho más pequeños que los frenos neumáticos originales, y el modelo básico es apropiado y simple de instalar (EE, 2020).

Por ser un área de conocimiento vasta, se encontraron muchos conocimientos previamente construidos.

2.3 Fundamento teórico

Al investigar el tema se encontró que hay suficientes teorías y modelos en la literatura procedente, se describirán elementos de varios autores de acuerdo con el

criterio que vaya marcando rumbo nuestro estudio. No se pretende detallar los mecanismos de accionamiento empleados para describir dispositivos mecánicos que entregan torque a un rollo de material o rollo(s) impulsado(s) en máquinas convertidoras como puede ser un motor, freno o embrague; la intención es describir la mecánica fundamental de los sistemas de control de tensión.

2.3.1 La tensión

La tensión se define como la fuerza aplicada a una trama o banda de material en la dirección de arrastre de la máquina como se ilustra en la figura 2.1. Dicha banda se define como material celulósico formado o trenzado continuo que podrá ser compactado en rollos para su posterior conversión a productos cortados, extendidos, o a otros rollos más pequeños de acuerdo con la necesidad de clientes. (Damour, 2004)

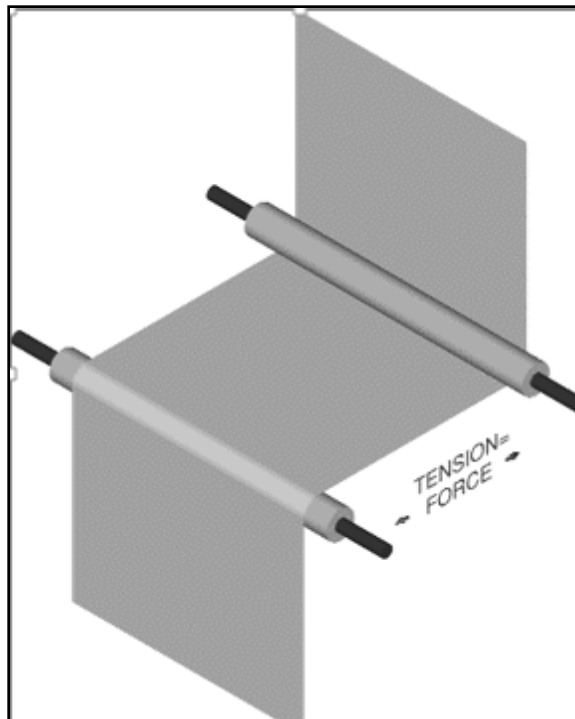


Figura 2.1 Definición de fuerza de tensión

Típicamente, la tensión se mide en PLI (Libras por pulgada lineal) en los EEUU. Si conoces el PLI y quieres saber la tensión total aplicada a la red, multiplica el PLI por el ancho del material en pulgadas. Si conoces las libras totales de tensión aplicadas a la red y quieres saber el PLI, divide las libras totales de tensión a través de la red por el ancho de la red en pulgadas. $\text{PLI (Libras por pulgada lineal)} = \text{libras totales de tensión} / \text{ancho de la red en pulgadas}$. $\text{Total de libras de tensión} = \text{PLI} \times \text{ancho de la red en pulgadas}$.

La tensión aplicada a una banda puede describirse como la sensación de ser jalado, arrastrado o presionado, obtenida de colgar un peso del borde de la banda. La tensión en la banda será igual al peso en libras, lo ilustra la figura 2.2. El PLI sería igual al peso en libras dividido por el ancho de la red en pulgadas. (Damour, 2004)

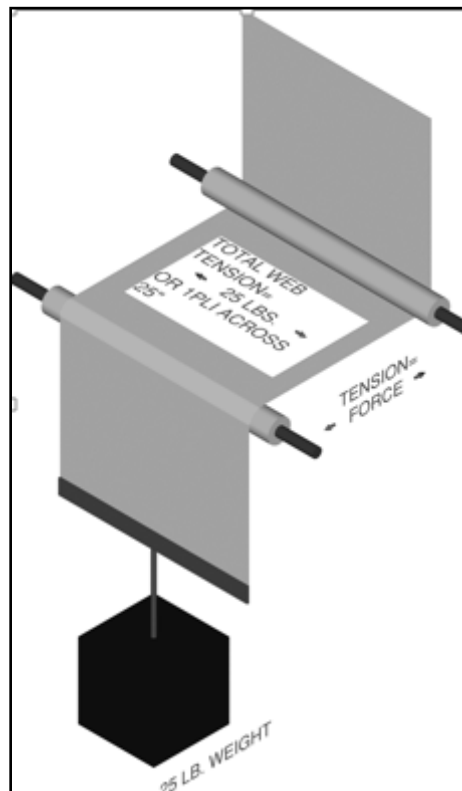


Figura 2.2 Descripción de la tensión

2.3.2 Principios de comportamiento de la tensión

La variable tensión es crítica para la industria papelera porque resulta imposible controlar la banda de material sin aplicarle la fuerza adecuada. La banda debe estar "en tracción" con todos los rodillos tensores de la máquina y los rodillos impulsados para garantizar un manejo y control adecuados. El principio de manipulación de tramas establece que una banda buscará alinearse perpendicularmente a un rodillo conductor o impulsor. Este principio de manipulación de bandas se aplica para enrutar las bandas a través de procesos con rodillos tensores paralelos y rodillos impulsados. Se aplica cuando se utilizanguías de banda para dirigir tramas. También se aplica en muchos dispositivos de eliminación de arrugas. Sin embargo, el principio de manipulación de la banda no aplica para bandas que no están en tracción con rodillos tensores o impulsados.

En otras palabras, si la banda se desliza sobre la cara de una rueda loca o un rodillo impulsado, puede desplazarse de un lado a otro, o si la banda se desliza sobre los rodillos tensores de la guía de banda, no se moverá donde la guía de la banda intenta dirigirla. Se debe aplicar tensión a las bandas para mantenerlas en tracción con los rodillos conductores y los rodillos impulsados.

Todas las bandas se estiran en la dirección de la máquina a medida que se les aplica una fuerza. Es importante aplicar la tensión adecuada a una banda para que pueda manipularse a través de la máquina y los procesos sin estirar demasiado como lo indica la figura 2.3 (Damour, 2004).

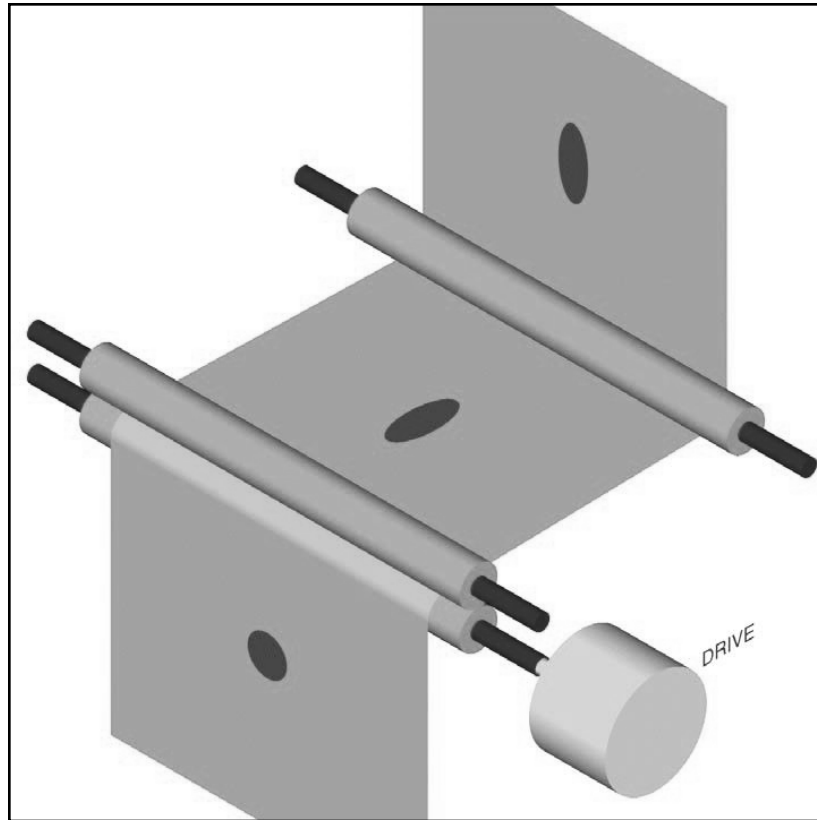


Figura 2.3 Estiramiento de banda dirección máquina

2.3.3 Para qué sirve el control de la tensión

Lo que sucede cuando no tenemos un control de tensión adecuado es que será imposible desbobinar rollos en un proceso por la estación de desenrollado, porque se producirán arrugas e incluso roturas de la banda cuando no se controla la tensión en la estación de desenrollado, debido a bobinas telescópicas (figura 2.4), y rollos cóncavos (figura 2.5) y de igual manera para procesos de rebobinar rollos, la estación de rebobinado también producirá arrugas e incluso roturas de la banda cuando no se controla la tensión en la estación de desenrollado, debido a bobinas telescópicas, y rollos cóncavos (Damour, 2004).

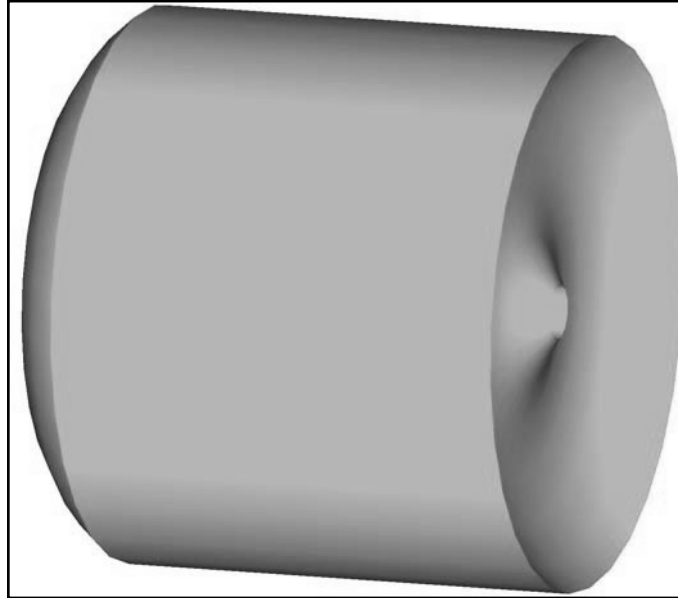


Figura 2.4 Rollo con defecto tipo telescopio

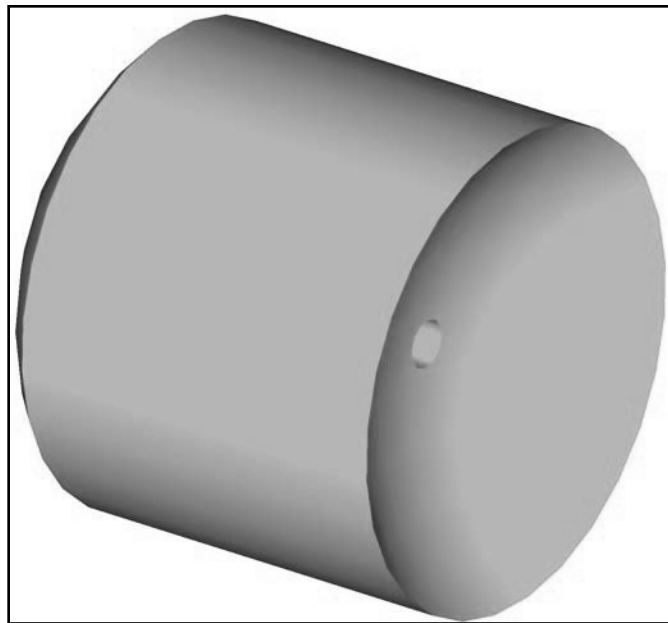


Figura 2.5 Rollo con defecto cóncavo

Muchas operaciones de conversión requieren un registro adecuado para las estaciones de impresión o troquelado. El control de tensión adecuado es esencial para controlar la impresión a impresión o el registro de troquelado. Las operaciones de laminado requieren que las capas se laminen con las tensiones adecuadas para evitar que la banda se doble, ver figura 2.5.



Figura 2.6 Bandas alineadas antes del corte

Las operaciones de corte requieren una posición adecuada para poder realizar el corte, que es una función de la tensión y la guía de la banda.

Cuando la tensión es demasiado alta, las bandas se estirarán en la dirección de la máquina y se comprimirán en la dirección transversal de la máquina. Este estrechamiento de la anchura de la banda puede provocar la aparición de arrugas.

Cuando el enrollamiento de banda se da en dirección máquina y la tensión que se da en el substrato superior es mayor que la que se da en el substrato inferior como lo muestra la figura 2.7, el producto se curva hacia arriba después de ser laminada la banda (Damour, 2004).

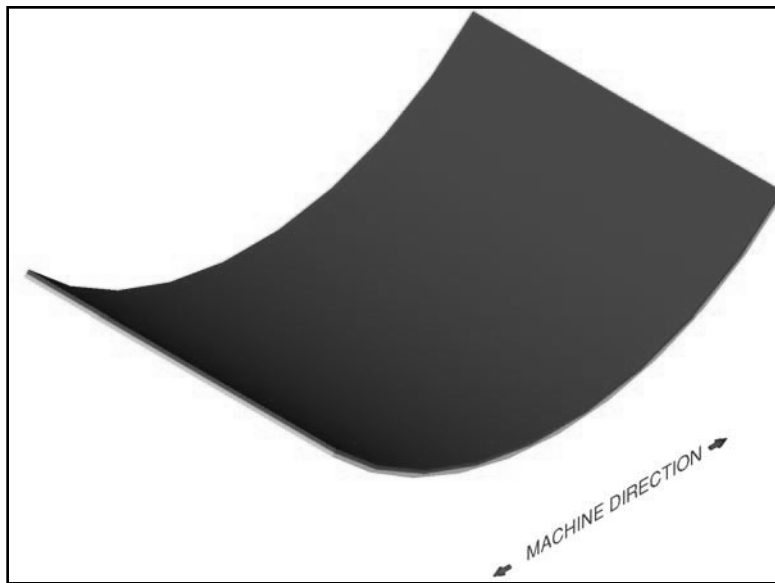


Figura 2.7 Encorvamiento por tensión superior mayor

Cuando la tensión es demasiado baja, las bandas se encogen en la dirección de la máquina y la banda se ensancha en la dirección transversal de la máquina. Este ensanchamiento del ancho de la banda puede provocar la aparición de arrugas (Damour, 2004).

Cuando el enrollamiento de banda se da en dirección máquina y la tensión que se da en el substrato superior es menor que la que se da en el substrato inferior como lo muestra la figura 2.8, el producto se curva hacia abajo después de ser laminada la banda.

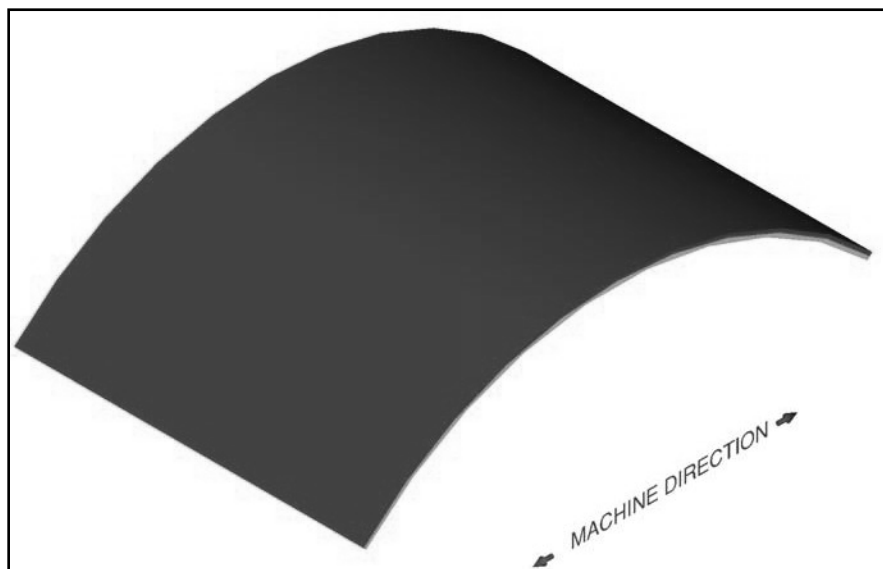


Figura 2.8 Encorvamiento por tensión inferior mayor

2.3.4 La tensión en el proceso de conversión

La mayoría de las aplicaciones de conversión incluyen tres tipos de zonas de tensión: desenrollado, interno y rebobinado (figura 2.9). Cada zona debe controlarse de forma independiente. Varias zonas de cada tipo son comunes en muchas aplicaciones de conversión; sin embargo, normalmente se clasifican como desbobinado, zona de procesamiento y rebobinado (Damour, 2004).

Cada zona de tensión es única y debe controlarse de forma independiente. Dado que en cada zona se utilizan controles de tensión independientes, cada zona puede tener su propio nivel de tensión. Esto significa, por ejemplo, que la tensión en la zona de desenrollado puede ser de 1 PLI, luego aumentar a 2 PLI en la zona interna y luego disminuir a 1,5 PLI en la zona de rebobinado (Damour, 2004).

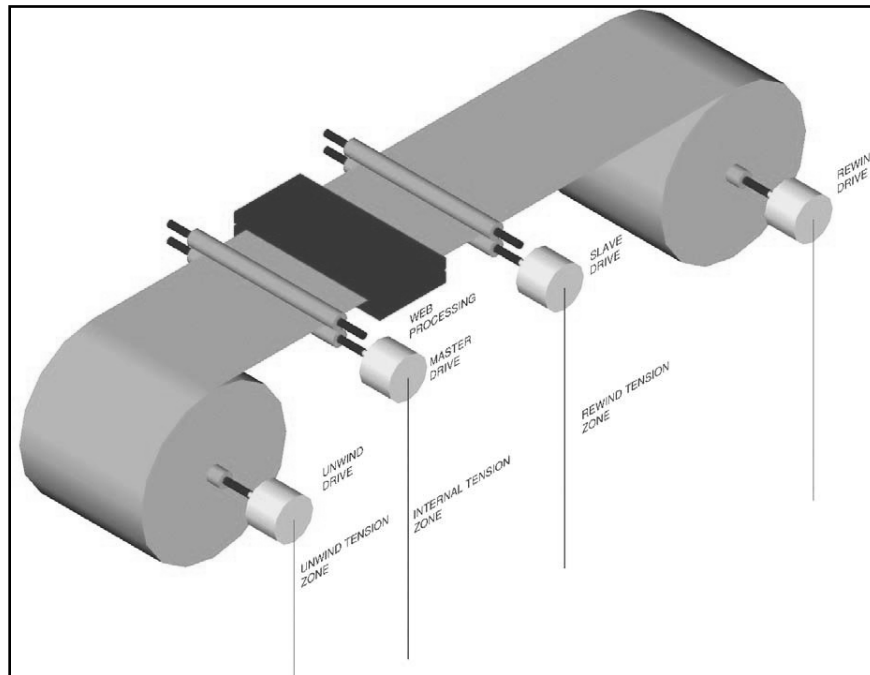


Figura 2.9 Zonas de tensión enrollar/desenrollar

El par de torsión requerido para proporcionar un cierto nivel de tensión a una banda es la tensión total medida a través de la banda por el radio de rollo. Esto significa que el par de torsión que impulsa el eje de desenrollado debe disminuir en una relación lineal, en relación con el diámetro del rollo, a medida que un rollo de desenrollado disminuye de tamaño, a través de la marcha de la máquina, para mantener la tensión constante (Damour, 2004).

Por el contrario, el par de torsión que impulsa el eje de rebobinado debe aumentar en una relación lineal, en relación con el diámetro del rollo, a medida que el rollo de rebobinado aumenta de tamaño, a través del funcionamiento de la máquina, para mantener la tensión constante.

La tensión en las zonas de relajación y rebobinado es muy dinámica. Los diámetros de los rodillos cambian constantemente, por lo que el par y la velocidad deben ajustarse constantemente en relación con los diámetros cambiantes de los rodillos. La tensión y la velocidad en las zonas internas son mucho más estable ya que los diámetros de los rodillos en estas zonas no cambian (figura 2.10). Sin embargo, se requiere cierto control para establecer y mantener los niveles deseados. Los defectos de la banda de papel, los empalmes, las velocidades deseadas de la máquina, los defectos de la máquina y otras variables afectarán la tensión en las zonas internas (Damour, 2004).

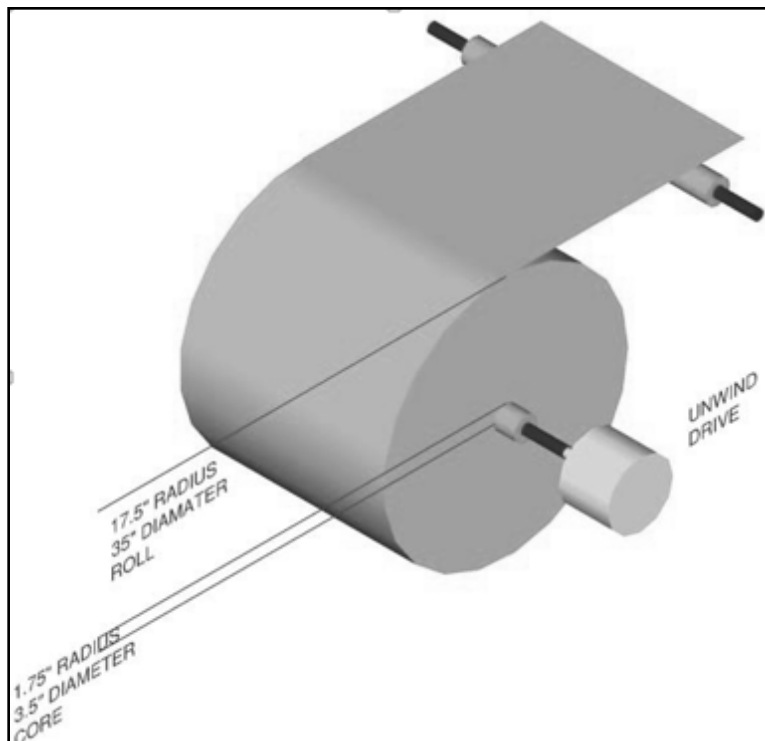


Figura 2.10 Centro de bobina fijos

Recuerde que la ecuación de torque = tensión x radio es lineal, por lo que el torque debe disminuirse (para desenrollar) y aumentarse (para rebobinar) a una tasa lineal relativa al radio del rollo. Por ejemplo, si comienza con un radio de rollo de 17,5 pulgadas (diámetro de 35 pulgadas) y se desenrolla hasta un radio de núcleo de 1,75 pulgadas (diámetro de 3,5 pulgadas); 17,5 dividido por 1,75 es una proporción de 10:1. Eso significa que, si comienza con 100 libras por pulgada de torque al comienzo del rollo de desenrollado para lograr la tensión adecuada, el torque debe reducirse linealmente a 10 libras por pulgada de torque en el núcleo para mantener una tensión constante (Damour, 2004).

El diseñador de la máquina debe determinar los niveles de tensión requeridos para cada zona. A menudo, los niveles de tensión requeridos solo se pueden determinar después de pasar la banda a través de la máquina, ya que todas las bandas y todos los procesos son algo únicos. TAPPI (Asociación técnica de la industria de la pulpa y el papel), así como muchas otras organizaciones de la industria, publican los niveles de tensión adecuados estimados para varios tipos diferentes de bandas y laminaciones. Sin embargo, tenga en cuenta que estos valores son solo pautas y "mejores estimaciones" basadas en muchos años de experiencia combinada en la industria. La mejor tensión real para ejecutar su banda y proceso específicos, muy probablemente, variará de la guía. Otra regla muy general es que la tensión apropiada de la banda es usualmente entre el 10-25% de la máxima fuerza de tensión de su banda (Damour, 2004).

2.3.5 Cómo se mide la tensión del proceso

Si ya se tiene un control de tensión de celda de carga, normalmente tiene la capacidad de mostrar la tensión real en libras totales en toda la red. También puede comprar celdas de carga con solo una pantalla (sin control) si desea medir la tensión dentro de cualquier zona de su máquina (figura 2.11) pero el costo del proyecto se eleva.

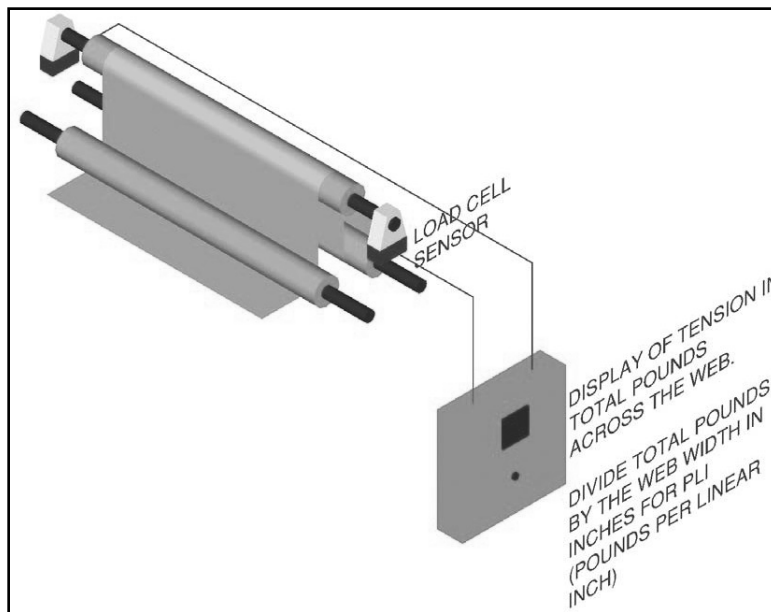


Figura 2.11 Medición de tensión

Si su máquina tiene rodillos bailarines, puede calcular la carga del bailarín en la red si conoce la geometría de la red y la fuerza de carga sobre el bailarín. Para hacer esto, necesitará un dibujo del bailarín y la ruta de la banda a través del bailarín. También necesita saber el tipo de carga y la fuerza aplicada. Otro método más simple sería colocar una báscula de algún tipo para medir la fuerza que el bailarín está cargando en la red (figura 2.12). Haga esto sin la red enhebrada a través del bailarín. Recuerde, mientras el bailarín permanezca en algún lugar dentro de su recorrido (entre sus límites físicos de completamente lleno o vacío), la tensión en la red es igual a la carga en el bailarín (Damour, 2004).

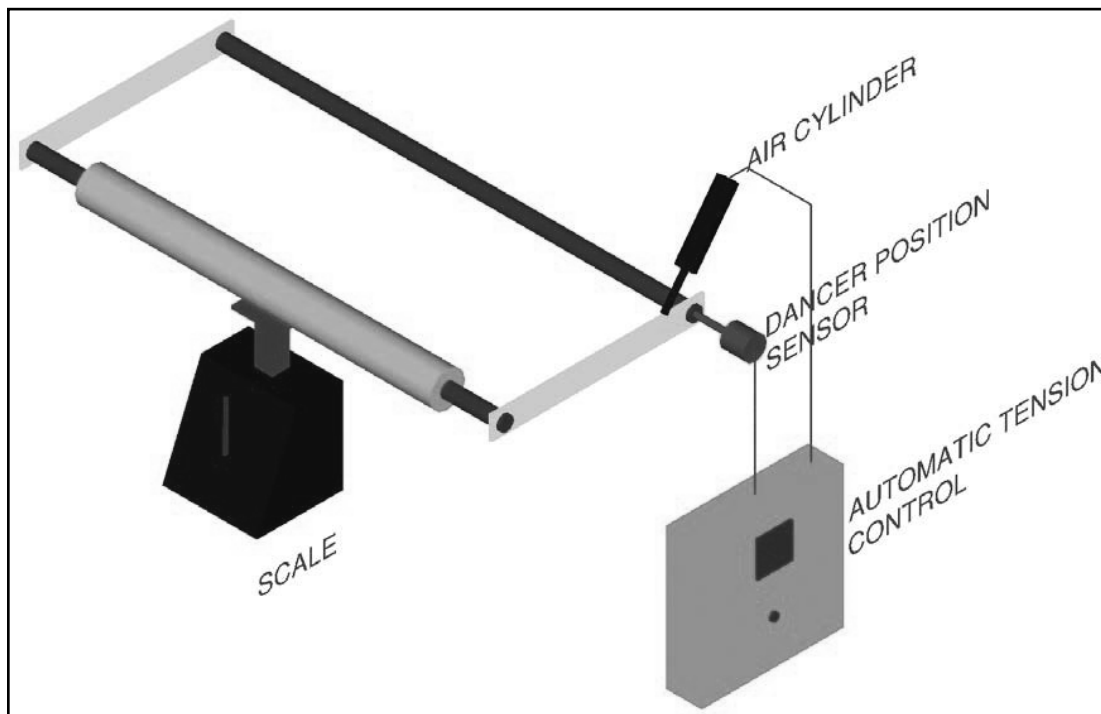


Figura 2.12 Sistema dancer roll

Otra forma tosca pero muy eficaz de medir la tensión en la zona de desenrollado es el "método de la báscula para peces". Este método funciona únicamente para la zona de desbobinado. Solo se puede utilizar si hay un freno en la estación de desenrollado. Desenvuelva una pequeña cantidad de material del rollo a desbobinar. Coloque la salida de par el freno de desenrollado en que normalmente se establece para una máquina en funcionamiento. Envuelva el borde delantero de la red alrededor de una barra y enganche una báscula para peces (figura 2.13) a través de la barra. Tire de la báscula hasta que el desbobinador comience a girar.

Registre la lectura de peso en la báscula. Esta es la tensión real en la banda, en este punto. Divida el peso total por el ancho de la banda en pulgadas para obtener PLI (libras por pulgada lineal) (Damour, 2004).

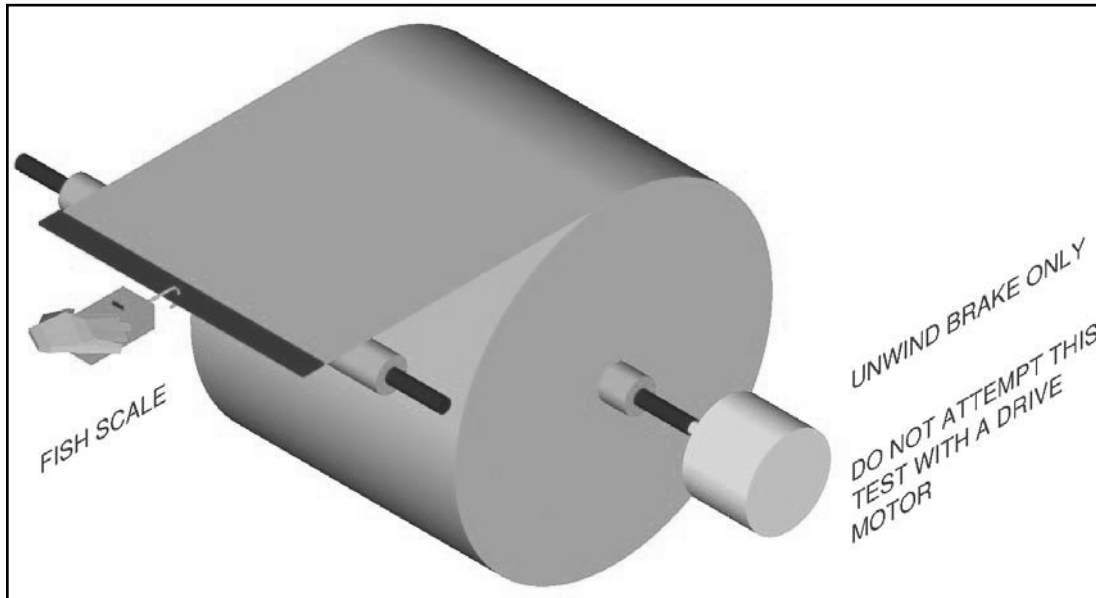


Figura 2.13 Medir tensión con bascula

No intente este método de medir la tensión si hay un motor de accionamiento en el desenrollado o para un rebobinador con un motor de accionamiento. Podrían producirse lesiones graves si se intenta este método de medir la tensión cuando hay un motor de accionamiento en la zona de desenrollado o rebobinado.

La tensión también se puede calcular si conoce el modelo de un freno o embrague, el nivel de salida a ese freno o embrague en un diámetro de rodillo dado. Al conocer la salida de par del freno o embrague, podemos conectar los valores en $\text{par} = \text{radio de balanceo} \times \text{tensión}$ y extrapolar la tensión real que el freno o embrague está entregando a la banda (Damour, 2004).

2.3.6 Metodologías que solucionan problemas similares

Todo lo que hemos comentado hasta ahora se basa en aplicaciones de tensión constante, no confundir con la tensión constante variando (o disminuyendo) A medida que la banda se desenrolla y se procesa, siempre se desea una tensión constante de la banda. Consideraciones de diseño hay muchas, diferentes para cada zona. Describiremos tanto los controles de medición de diámetro para construir sistemas de lazo abierto, como los controles de medición de tensión usados en lazo cerrado y cómo cada tipo de control encaja en cada tipo de zona de tensión. Hay varios tipos de controles, cada tipo tiene su propio método para detectar el diámetro del rollo de desenrollado y rebobinado.

Los controles para la medición de diámetro son extremadamente útiles para controlar la tensión en un desenrollado y en un rebobinado. Sin embargo, debido a que controlan la tensión al disminuir (desenrollar) o aumentar (rebobinar) proporcionalmente el par de torsión en relación con el cambio de diámetro del rodillo, no funcionan para las zonas de tensión internas. Estos tipos de controles de tensión se utilizan estrictamente en las zonas de tensión de desenrollado y rebobinado (Damour, 2004).

2.3.7 Evolución y comparación de los métodos de control

Se muestra a continuación, la evolución de los controladores a lazo abierto y su descripción, los cuales realizan su trabajo sin retroalimentación del controlador, se describen, se indican cambios y mejoras tecnológicas, se resaltan sus ventajas y desventajas técnicas, de implementación y hasta de operación.

Control de tensión manual. Son los primeros controles que se implementaron. Pueden ser tan simples como un potenciómetro que ajusta la salida de par de un freno o embrague de accionamiento o de partículas magnéticas o un regulador de aire que ajusta la presión de aire (figura 2.14), y por lo tanto, la salida de par de un freno o embrague de aire. Este método de control se puede utilizar en las tres zonas de tensión (Damour, 2004).

Ventajas:

- i. Es el método más sencillo y económico.
- ii. La acción de control es directa

Desventajas:

- i. Obviamente, es el menos preciso de todos los tipos de controles de tensión porque depende completamente de la "sensación" del operador para establecer la tensión adecuada.
- ii. No hay retroalimentación de la máquina para verificar los niveles reales de tensión del proceso. A menudo, tendrán algún tipo de "medidor" en la parte frontal del control para mostrar la salida como punto de referencia.
- iii. Las zonas de tensión de desenrollado y rebobinado son las más difíciles de controlar manualmente debido a los diámetros que cambian constantemente y, por lo tanto, deben ajustarse constantemente.

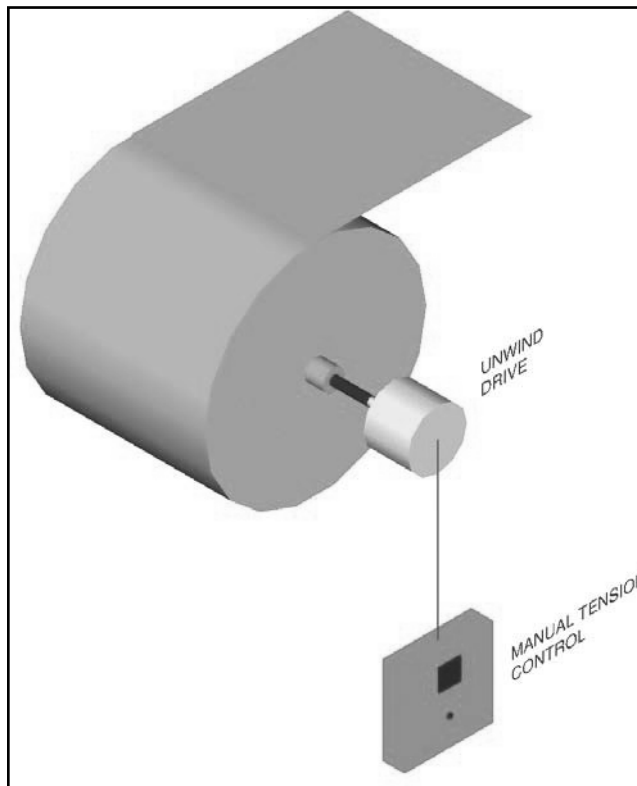


Figura 2.14 Ejemplo de control manual de tensión

La medición de diámetro del tipo de brazo seguidor también llamado de rodillo de apoyo es la tecnología más antigua para la medición de diámetros. Este tipo de control tiene una rueda o rollo, que se apoya en el diámetro exterior del rollo de rebobinado o desenrollado. La rueda (figura 2.15) o el rodillo (figura 2.16) están montados en un brazo pivotante. El brazo pivotante está cargado por resorte o aire con un dispositivo sensor montado en el punto de pivote. El dispositivo de detección suele ser un potenciómetro, pero también son comunes los sensores de proximidad y los sensores de efecto Hall. Este dispositivo de detección se retroalimenta al control de tensión y se genera una salida al variador para controlar la torsión proporcional a la formación del rollo (Damour, 2004).

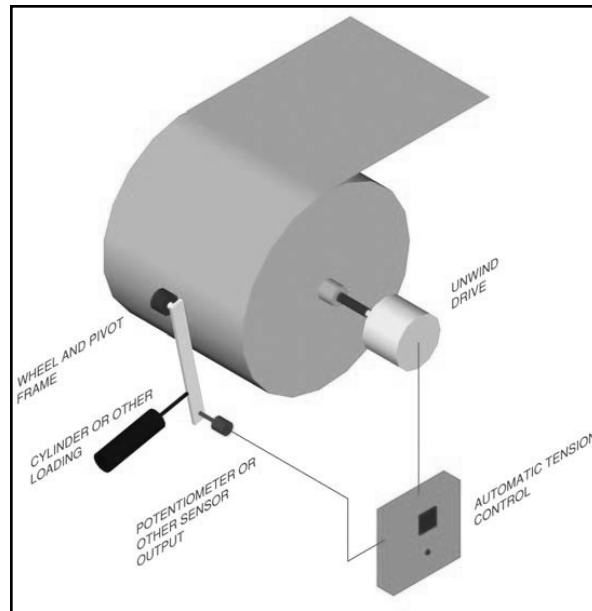


Figura 2.15 Brazo seguidor con rueda

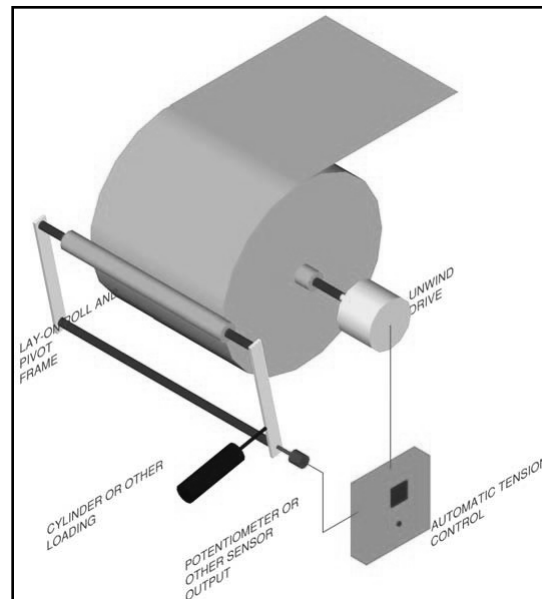


Figura 2.16 Brazo seguidor con rodillo

Ventajas:

- i. Este tipo de control de tensión es muy simple.
- ii. Buen reemplazo para el control manual controlado por el operador.
- iii. Barato.
- iv. Fácil de instalar.

Desventajas:

- i. Normalmente, este control no tiene compensación por rollos fuera de ronda. Los rodillos fuera de ronda pueden hacer que este control oscile.
- ii. El rodillo de apoyo o la rueda interfieren en el cambio de rodillos.
- iii. Se necesitan importantes modificaciones mecánicas para aumentar la capacidad del rollo de desenrollado o rebobinado.
- iv. Hay muchas piezas mecánicas que requerirán mantenimiento.
- v. Este es un control de tensión de lazo abierto. No controla la tensión midiendo la tensión en la red. Controla la tensión midiendo el diámetro del rollo. Asume que todas las condiciones que afectan la tensión de la banda son correctas.
- vi. Este tipo de control solo puede implementarse en las zonas de desenrollado y rebobinado. No puede controlar zonas internas.
- vii. Debe entrar en contacto con el material, podría dañar aquellos muy delgados o sensibles.

El control de tensión por ultrasonido es una opción más popular en la actualidad. El sensor ultrasónico emite una señal que viaja a la superficie de los rollos, rebota y regresa al sensor (figura 2.17). La lógica de control mide el tiempo que tarda la señal en volver al sensor y de esa forma mide la distancia. Dado que el control mide la distancia, dará una salida lineal en relación con el radio del rollo a un dispositivo de transmisión. Como discutimos anteriormente, la ecuación $\text{par} = \text{tensión} \times \text{radio}$ es lineal, por lo que, si el control de tensión por ultrasonido da una

salida lineal en relación con el radio, controlará el par motor a través de un rodillo de desenrollado o rebobinado construido para suministrar tensión constante (Damour, 2004).

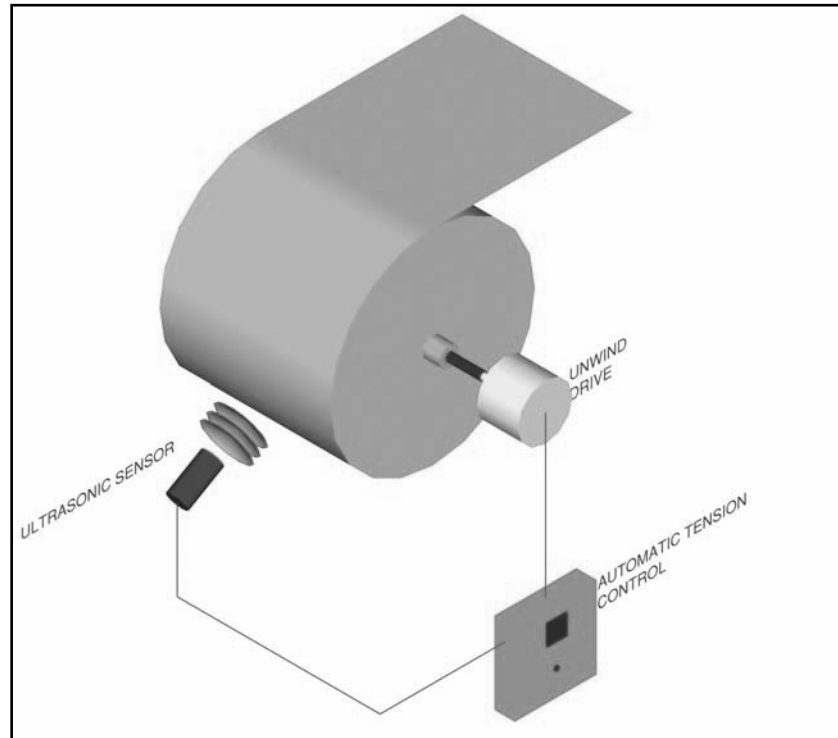


Figura 2.17 Control por ultrasonido

Ventajas:

- i. Este tipo de control de tensión es muy simple.
- ii. Excelente reemplazo para el control manual controlado por el operador.
- iii. Relativamente económico.
- iv. Extremadamente fácil de instalar.
- v. Da una verdadera salida lineal en relación con el diámetro del rollo.
- vi. Los modelos de este control están disponibles con compensación de rodillos fuera de ronda para eliminar la oscilación del control.

- vii. El sensor ultrasónico se puede “guardar” fuera del alcance de los operadores de la máquina. Se puede montar en cualquier lugar alrededor de la circunferencia del rollo, siempre que tenga una vista clara del radio del rollo.
- viii. Las modificaciones para aumentar la capacidad del rollo de rebobinado o desenrollado son fáciles. Todo lo que se necesita es mover el transductor y recalibrarlo.
- ix. Sin piezas mecánicas que se desgasten.
- x. Los modelos están disponibles con alarmas de límite. Como rollo bajo o vacío.
- xi. Sin contacto material para materiales sensibles.

Desventajas:

- i. Este es un control de tensión de lazo abierto. No controla la tensión midiendo la tensión en la red. Controla la tensión midiendo el diámetro del rollo. Asume que todas las condiciones que afectan la tensión de la banda son correctas.
- ii. Este tipo de control de tensión solo puede controlar las zonas de desenrollado y rebobinado. No puede controlar zonas internas.
- iii. Cualquier objeto colocado entre el diámetro exterior del rollo y el transductor lo afecta.
- iv. La calibración electrónica es necesaria con la configuración inicial.
- v. Algunos tipos de material, como los no tejidos, pueden absorber la señal ultrasónica. Si la señal no regresa al sensor, no funcionará.
- vi. El posicionamiento perpendicular del sensor con respecto a la línea central de los rodillos es algo crítico. Si el sensor se “golpea” fuera de posición, es posible que no funcione correctamente.

La calculadora de diámetro es el último tipo de control de medición de diámetro que estudió para aplicaciones en lazo cerrado. Este tipo de control utiliza sensores en el eje de desenrollado o rebobinado y un rodillo loco o impulsado. Ambos sensores detectan RPM (figura 2.18). Pueden ser codificadores o generadores de tacómetro. La velocidad de la máquina es constante y conocida. Las velocidades del rollo de rebobinado y desenrollado varían en relación con el diámetro del rollo. Comparando la velocidad constante conocida con la velocidad variable del rollo de rebobinado o desenrollado, se puede calcular el diámetro (Damour, 2004).

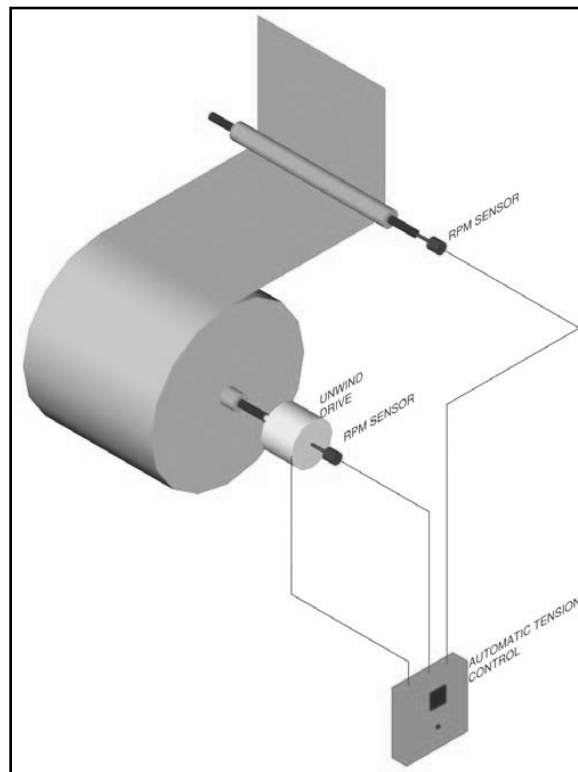


Figura 2.18 Sensores de rpm para calculadora de diámetro.

Ventajas:

- i. Excelente reemplazo para el control manual controlado por el operador.
- ii. Relativamente económico.
- iii. Relativamente fácil de instalar.

- iv. Da una verdadera salida lineal en relación con el diámetro del rollo.
- v. No afecta ni estorba la forma de cargar o descargar de rollos
- vi. Las modificaciones para aumentar la capacidad del rollo de rebobinado o desenrollado son fáciles.
- vii. Todo lo que se necesita es recalibración.
- viii. Sin piezas mecánicas que se desgasten.
- ix. Los modelos están disponibles con alarmas de límite, como rollo bajo o vacío.
- x. Sin contacto material para materiales sensibles.

Desventajas:

- i. Este es un control de tensión de lazo abierto.
- ii. No controla la tensión midiendo la tensión en la red.
- iii. Controla la tensión midiendo el diámetro del rollo.
- iv. Asume que todas las condiciones que afectan la tensión de la banda son correctas.
- v. Este tipo de control de tensión solo puede controlar las zonas de desenrollado y rebobinado. No puede controlar zonas internas.
- vi. La lógica de control es compleja, (en comparación con el tipo de brazo seguidor o ultrasónico). Requiere un PLC.
- vii. La calibración electrónica es necesaria con la configuración inicial.

2.4 Fundamentos y tipos de control de la tensión en lazos

Comprender los fundamentos del control de la tensión de la banda puede ayudar a determinar los problemas que afectan el rendimiento del control de la tensión de la banda en cada zona de tensión y llevar a la optimización.

El diseño cuidadoso del sistema de tensión y la implementación de las tecnologías actuales conducirán a un mejor rendimiento y calidad del producto. Se hace referencia al proceso de controlar la tensión mientras se transporta una banda de papel. El control de tensión preciso y estable garantiza la máxima calidad y productividad del producto. Un sistema de control de tensión de banda optimizado asegurará que se mantenga la tensión correcta para cualquier tipo de material, en cualquier sección de la máquina e independientemente de la velocidad o las condiciones del proceso (Damour, 2004).

2.4.1 Problemática de la zona de tensión

Cada sección de máquina / zona de tensión individual puede tener sus problemas y desafíos específicos para optimizar su control de tensión. Una sección de máquina accionada constará de tres componentes; un motor, componentes de transmisión de potencia (engranajes, acoplamientos, etc.) y la carga. Los sistemas de propulsión modernos pueden proporcionar un alto grado de rendimiento, pero dependen de la calidad de la mecánica de transmisión de potencia. Si la sección impulsada tiene características mecánicas deficientes, es decir, conformidad o movimiento perdido entre la carga y el motor, el rendimiento del control de tensión será limitado. Todos los componentes de la transmisión de potencia deben evaluarse para determinar la rigidez mecánica, incluidos el acoplamiento, los ejes y, especialmente, los mandriles y los ejes.

La mala calidad del rollo bobinado (rollos redondos, banda bloqueada, etc.) puede ser uno de los mayores desafíos para los desenrolladores. Un sistema de rodillos bailarines diseñado correctamente puede resolver algunos de los efectos inherentes a los problemas de calidad. Los lazos de control de optimización

automática ya están disponibles y se pueden implementar con éxito para rechazar las perturbaciones cíclicas, pero dependen de un sistema mecánicamente rígido.

El sistema de control de tensión que desenrolla y rebobina debe tener en cuenta los cambios de velocidad en la banda a medida que la adición o sustracción de la velocidad de la banda varia, debe incluirse como un avance al sistema de control de tensión en lugar de permitir que el control PID determine y elimine el error.

Se debe considerar la selección de la sección principal o maestra de velocidad, generalmente la sección impulsada más cercana al desenrollado o la sección que requiere el nivel más alto de precisión de regulación de velocidad. Todas las secciones siguientes deben seguir los puntos de ajuste de la velocidad o la posición de la banda en lugar de los valores reales de velocidad o posición (Damour, 2004).

2.4.2 Secciones de la máquina donde se da el control de tensión

La revisión de los fundamentos del control de la tensión de la banda cubre los siguientes temas; secciones de la máquina (desenrollador, rebobinador y secciones de la máquina accionada) y los problemas críticos de control de tensión para cada una. Sensores y componentes de tensión de la banda, sistemas bailarines y acumuladores. Selección de celdas de carga y criterios de diseño del sistema de rodillos balancines. Métodos de control de tensión, control de lazo abierto y cerrado. Modos de control de tensión, es decir, velocidad y par y su aplicación adecuada. Los efectos de la conformidad de la banda en el control de tensión y las consideraciones del método de control.

La mayoría de las líneas de conversión de papeles en rollos a extendidos tienen más de una zona de tensión. Las zonas de control de tensión de la máquina se pueden considerar como desenrollado, proceso o aislamiento de sección y rebobinado. Cada zona requerirá un sistema de control y aislamiento de las zonas vecinas.

2.4.3 Desbobinadores

Las líneas de conversión de rollo a rollo y rollo a hoja comienzan con la sección de desenrollado. Los desenrollados son controlados por el centro, controlados por superficie o controlados por una combinación de centro / superficie. Los desenrollados se pueden configurar de uno o varios ejes. Los desenrolladores se controlan con un sistema de transmisión o un freno mecánico. El desenrollador impulsado es capaz de lograr un mayor nivel de rendimiento de control de tensión. Un desenrollador controlado por freno solo opera en cualquiera de los cuadrantes dos (II) o cuatro (IV), creando torque solo en la dirección opuesta a la rotación del eje como lo muestra la figura 2.19. Un desenrollador accionado por variador de frecuencia opera en los cuatro cuadrantes de velocidad de rotación y par (Gilbert, 2018).

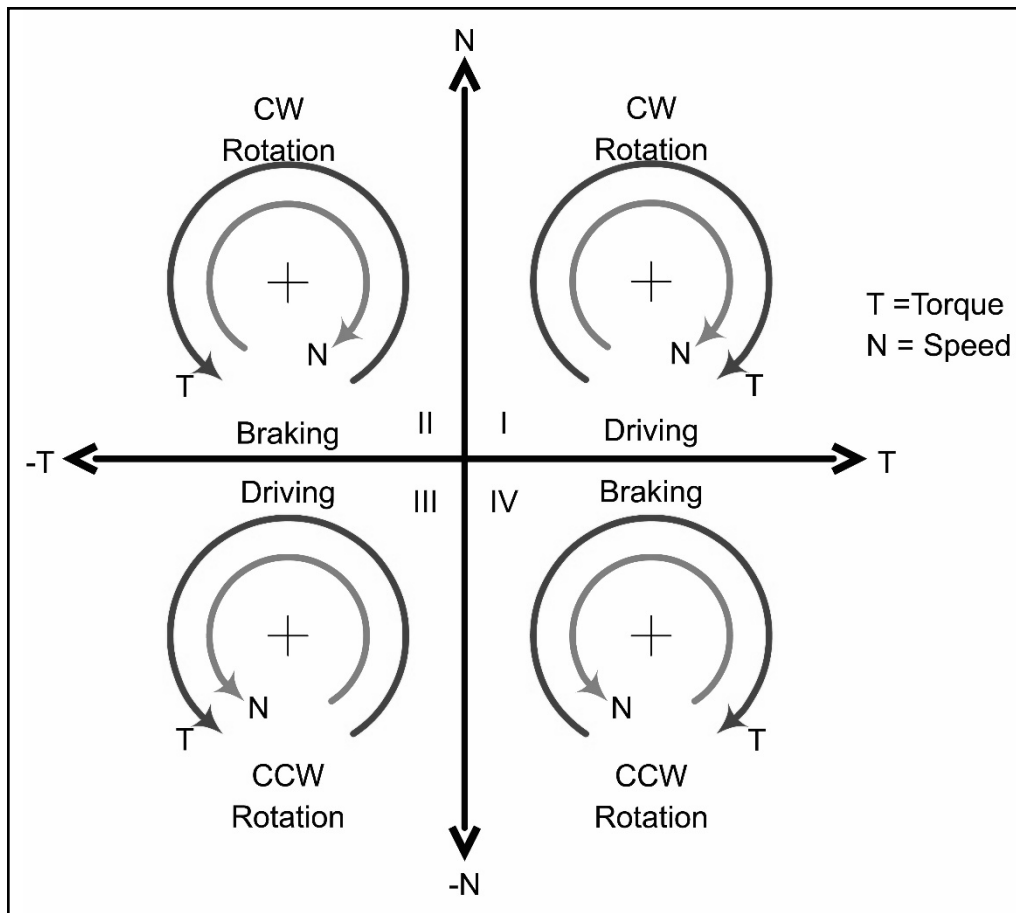


Figura 2.19 Cuadrantes de operación de freno en desbobinador (n/M).

Los desenrolladores requieren un torque en la dirección del eje durante la aceleración y durante las variaciones de tensión que se crean en el rollo, por ejemplo, cuando se agotan el diámetro de rollos de papel o rollos con material bloqueado o pegado. En la operación de un solo cuadrante, los resultados de estos problemas son un aumento de la tensión durante la aceleración y un control deficiente de la tensión durante las perturbaciones del balanceo. Un sistema de propulsión regenerativa de CA o drive aplicado a un desenrollador impulsado proporcionará control en esas condiciones y también tendrá un rango de torsión más amplio, una mejor regulación de torsión y una respuesta de torsión más rápida, contribuyendo a rangos de tensión más amplios, relaciones de construcción más

grandes y mayor precisión en el control de tensión, pero será más costoso y requiere mayor dificultad de implementación.

Además, los sistemas de drive de CA tienen la capacidad de devolver la energía regenerativa a la línea de CA, retornando la energía de tensión a la línea que el freno produjo en forma de calor. Cuando está equipado con tecnología de interfaz activa, devolverá la energía con un factor de potencia cercano a la unidad. Más allá de los ahorros de costos obvios de los reemplazos de pastillas en los sistemas de frenado mecánico, los motores de CA prácticamente no requieren mantenimiento en comparación. La combinación de funcionamiento mejorado, mantenimiento reducido, ahorro de energía y conservación de energía les da a los accionamientos de regeneración de CA una clara ventaja sobre los frenos mecánicos para controlar la tensión de la zona de desenrollado.

Una zona de tensión requiere dos componentes, una sección de rodillo accionado y aislamiento, es decir, sin deslizamiento de la banda. La sección de aislamiento de tensión ideal es un rodillo de tracción de acero impulsado con un rodillo de presión cubierto de goma pivotante, se deben tener en cuenta las cualidades de fricción de la superficie del rodillo para asegurar el aislamiento y eliminar el deslizamiento. Para procesos que prohíben el contacto en ambos lados de la banda, se puede implementar un rodillo de tracción al vacío. El rodillo de tracción por vacío es un cilindro hueco con una superficie perforada que está conectado internamente a una fuente de vacío. El rodillo de vacío ideal tendrá plataformas laterales ajustables para permitir anchos de banda de papel variables. Cuanto mejor sea el aislamiento de tensión de la zona, mayor será la capacidad de las secciones impulsadas para absorber tensiones transitorias. Una sección de máquina impulsada puede ser la sección principal de la máquina o el controlador de tensión para la zona (Gilbert, 2018).

2.4.4 Rebobinadores

Es la sección final en una línea de proceso de conversión y en la mayoría de los casos requiere el control de tensión más crítico. De manera similar a los desenrollados, los rebobinados también se incluyen en las categorías de superficie y centro impulsado y combinación. Cuando la transmisión de superficie pura en un desenrollado normalmente es impulsada por correa, los rebobinados impulsados por superficie son normalmente del tipo de dos tambores. El rebobinado central es el más común. Los rebobinados accionados por el centro pueden ser de un solo eje o torreta de varios ejes. La tensión cónica puede ser una opción importante en los rebobinados y se pueden implementar varias funciones. Se puede utilizar una tensión cónica fija para reducir los requisitos de potencia de un sistema de accionamiento de bobinadora, no es nuestro caso.

2.5 Opciones de controles de tensión

Hay dos opciones de control para regular la tensión en una zona; son control de lazo abierto y lazo cerrado. Ambos se pueden utilizar para controlar la tensión en una sección accionada de diámetro fijo o en un desenrollador / rebobinado accionado por el centro. El control de tensión en la bobinadora central es el más complejo, ya que tiene que lidiar con los cambios en la circunferencia y la masa del rollo. La siguiente discusión sobre estas dos opciones de control se centrará en su funcionalidad como control de tensión central de bobinado.

2.5.1 Control de tensión de lazo abierto

El control de tensión de lazo abierto se selecciona típicamente para su uso cuando se considera el costo de un sensor / control de tensión. Un sistema de control de tensión de bucle abierto no tiene realimentación de tensión desde su zona de control. El control de tensión de lazo abierto se basa únicamente en un punto de ajuste de tensión sin retroalimentación o influencia de las condiciones reales y no tiene la capacidad de responder a las perturbaciones de tensión en la zona. En una aplicación de bobinado central, el punto de ajuste de control debe ser modificado por el diámetro real del rodillo para lograr el torque correcto en el eje. La información del diámetro puede provenir de un sensor externo o una calculadora de diámetro. La precisión de la tensión dependerá directamente del valor de la información del diámetro del sistema.

El control de tensión de lazo abierto en las zonas de tensión impulsadas por el centro se implementa mediante el control de par o el control de limitación de par en el variador. La compensación de inercia y fricción debe implementarse en el control. En el mejor de los casos, la precisión del control de tensión de bucle abierto estará en el rango de $\pm 10\%$. El control de tensión de lazo abierto en el modo de par se puede mejorar con el uso de motores síncronos. El campo magnético giratorio de los motores síncronos es constante, fijado por los imanes permanentes en el rotor del motor.

El control de velocidad de lazo abierto o el control de tracción se puede utilizar entre las zonas seccionales para establecer la tensión de la banda entre las secciones donde la elasticidad y la longitud de la zona lo permitan. El diagrama de la figura 2.20 describe la función (Gilbert, 2018).

control de tensión (PI) como una fuerza de rotación a través de los límites de corriente. La compensación de inercia y fricción es, en la mayoría de los casos, una característica requerida que debe implementarse en este modo. El ejemplo de la Figura 2.21 describe un ejemplo de control de par de celda de carga (Gilbert, 2018).

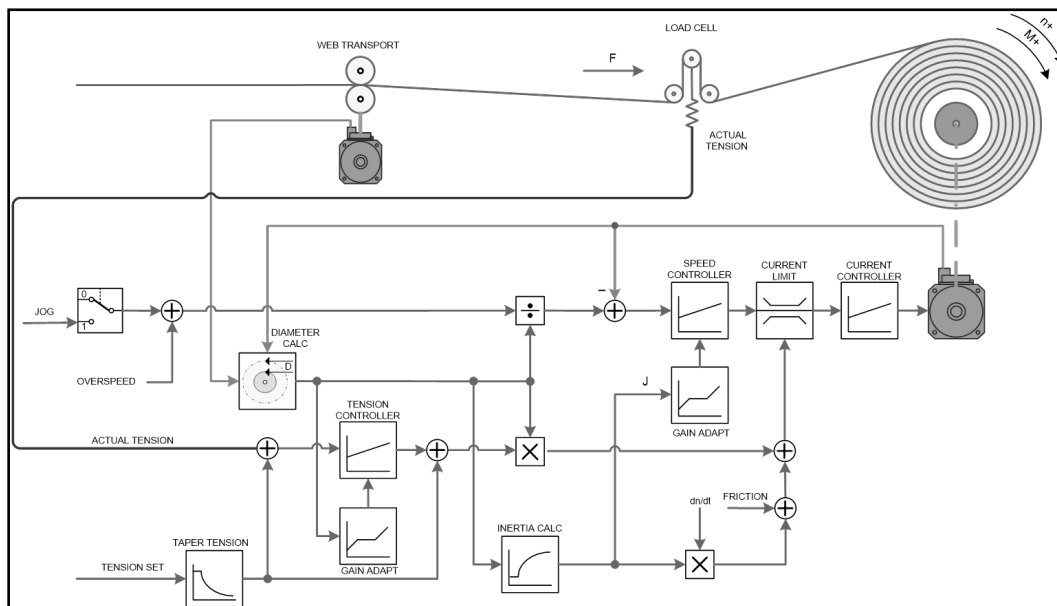


Figura 2.21 Control de tensión de lazo cerrado

El control de tensión de corrección del punto de ajuste de velocidad es de lazo cerrado, con referencia de velocidad de la banda y posición de bailarín o una retroalimentación de tensión de una celda de carga. En este modo, el dispositivo de retroalimentación puede ser una posición de bailarín o una celda de carga, factorizado por el diámetro real y compensado por el error de tensión transformado a través de un lazo de control PI (tensión) como una adición del punto de ajuste de velocidad. La compensación de inercia y fricción no son tan críticas como el modo de control de toque, sin embargo, deben implementarse como una característica de control de este modo. El ejemplo de la Figura 2.22 describe un ejemplo de control

de velocidad con celda de carga. El control de velocidad de lazo cerrado y el control de par son las mejores opciones para un rendimiento preciso del control de tensión (Gilbert, 2018).

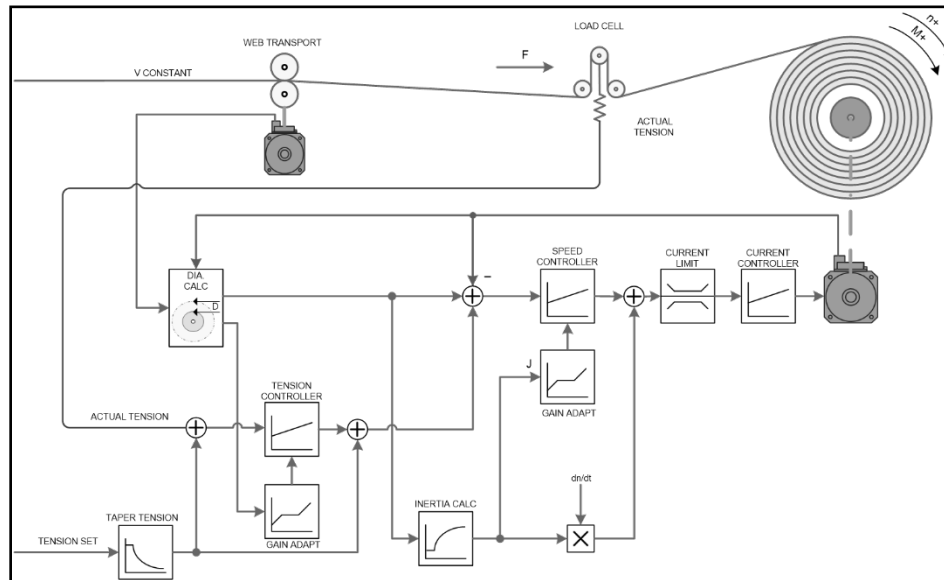


Figura 2.22 Control de velocidad con celda de carga.

2.6 Sensores para calcular o detectar fuerza de tensión

Hay dos opciones para el componente de detección para control de tensión de lazo cerrado, sistemas de rodillo dancer o bailarín, y celdas de carga o transductores de medición de fuerza. Ambos sensores tienen ventajas y desventajas que conducen a la selección en aplicaciones específicas.

2.6.1 Dancer roll

El rodillo bailarín u oscilante no es un sensor de tensión, es un rodillo de movimiento libre, cargado con una fuerza que se imparte a la red en forma de

tensión como resultado de la posición de la red sobre la bailarina. Los sistemas de rodillos bailarines pueden ser lineales o pivotantes. Los bailarines lineales pueden tener problemas de alineación de lado a lado. Los bailarines pivotantes son los más comunes, se pueden montar en posición horizontal o vertical desde arriba o desde abajo. El uso más común del bailarín pivotante se monta horizontalmente. El montaje vertical desde la parte superior tiende a ser auto entrante, creando un efecto de péndulo de equilibrio o auto estabilización en el movimiento del bailarín. El montaje vertical desde abajo tiende a tener problemas de estabilidad a medida que la masa del rodillo oscilante gira a través del centro. Las unidades montadas horizontalmente son el tipo preferido para un control óptimo de la tensión. El rango de movimiento típico de un bailarín pivotante horizontal es de ± 30 grados.

El sistema de rodillo dancer requiere un sensor de posición para el control de la posición del bailarín. Tradicionalmente, el sensor de posición ha sido un potenciómetro o un dispositivo sensor analógico similar. Debido al movimiento limitado del brazo, los sensores analógicos de acoplamiento directo (potenciómetros) requieren engranajes para extender el rango de la señal analógica. Los potenciómetros y otros dispositivos analógicos activados por voltaje son susceptibles al ruido eléctrico. Los variadores PWM crean la oportunidad de inducir ruido en las señales de bajo voltaje de los dispositivos analógicos.

Los encoders ópticos son el sensor de posición preferido para los sistemas de rodillos bailarines, ofrecen datos de posición de alta resolución sin ruido. Por ejemplo, un codificador sen / cos de 22 bits de resolución proporciona más de cuatro millones de conteos (4, 194, 304) de resolución por revolución, esto equivale a casi 699,050 conteos de resolución en 60 grados de movimiento del dancer. Esta es una resolución más que significativa y elimina el requisito de engranajes mecánicos del sensor de posición. El uso de un encoder absoluto de una sola vuelta sin / cos eliminará la necesidad de referenciar.

El sistema de rodillo dancer requiere una fuerza de rotación en el pivote que se imparte a la banda como tensión. Se han utilizado varios mecanismos para aplicar una fuerza de carga al bailarín, como pesos fijos o móviles, resortes, cilindros neumáticos estándar, embragues en ejes accionados, etc. La carga neumática del brazo oscilante es el enfoque más común.

Eliminar la fricción en el dispositivo de carga del bailarín es fundamental para un control preciso de la tensión. Un cambio en la tensión de la banda producirá un cambio de posición en el brazo del bailarín. La fricción provocara una reacción retardada a la tensión alterada y aumentara el error de tensión, retrasando la respuesta correctiva. Los sellos de los cilindros neumáticos estándar pueden tener grandes fuerzas de ruptura. Las fuerzas de ruptura aumentan con el diámetro del cilindro. Disminuir el tamaño del diámetro interior de un cilindro reducirá la fuerza de ruptura, pero complicara la mecánica de obtener una fuerza suficiente.

Los cilindros neumáticos de diafragma rodante se utilizan comúnmente para cargar brazos oscilantes. Este tipo de cilindro proporciona una operación práctica de baja fricción y se produce en una amplia gama de tamaños que van desde 4 pulgadas cuadradas hasta 24 pulgadas cuadradas de área del cilindro. Para los requisitos de fricción más bajos, el cilindro debe especificarse con rodamientos lineales en el soporte del eje en lugar del rodamiento de bronce sinterizado estándar para disminuir la fricción. Los cilindros se suministran con un resorte de carga interno; los resortes deben quitarse ya que la presión del aire proporciona una fuerza más lineal. Se recomienda un solo cilindro de carga en un lado del brazo oscilante. Se deben implementar topes mecánicos en la parte superior e inferior de la carrera del brazo oscilante para proteger el cilindro.

Un regulador neumático E/P o I/P (voltaje a presión o corriente a presión) proporciona el mejor medio para un control de presión ajustable de forma remota. La selección del regulador debe tener suficiente flujo hacia adelante y hacia atrás para mantener una presión constante durante los cambios de volumen del cilindro. Cualquier cambio de volumen en el cilindro sin compensación del regulador de presión resultará en una desviación de presión, causando un error de tensión.

El rango de tensión para un solo rodillo cargado neumáticamente depende del rango utilizable de presión de aire. Por ejemplo, con un suministro de presión de aire máxima de 90 PSI y una presión de aire utilizable mínima de 5 PSI, el rango de tensión sería $90/5 = 18:1$. El rango de tensión se puede aumentar agregando rodillos libres adicionales al brazo oscilante, aumentando así la fuerza sobre el brazo al doble con cada giro adicional.

La masa del brazo del bailarín debe diseñarse para que sea lo más baja posible. Newton nos dice en su primera ley del movimiento que “un cuerpo en reposo tiende a permanecer en reposo y un cuerpo en movimiento tiende a permanecer en movimiento”. Las fuerzas necesarias para superar un cambio en los estados resistivos en el brazo del bailarín se verán afectadas por la masa o la inercia del brazo. La adición de una red compatible como acoplamiento de control complica aún más el problema. Dado que el sistema de balanceo es un dispositivo de posición controlada, con la velocidad de la banda y el material de la banda como factor de control, se debe considerar la implementación de un diseño de masa mínima en el rollo giratorio como máxima prioridad. Esto es especialmente crítico para las bandas de baja tensión. Algunos sistemas de bailarina incorporan contrapesos para equilibrar el brazo. Se deben evitar los contrapesos ya que agregan masa al brazo del bailarín. La masa del sistema Dancer se puede mantener al mínimo utilizando componentes de aluminio en la estructura del brazo giratorio y los rodillos. Se

prefieren los rodillos ultraligeros con ejes de mangueta de cojinetes dobles; si se debe utilizar una rueda libre de eje muerto, se deben evitar los ejes de acero.

Un sistema de rodillo dancer diseñado correctamente no solo regulará bien la tensión, sino que también podrá absorber los transitorios de la red sin causar problemas de tensión adicionales. La Figura 2.23 describe un sistema oscilante montado horizontalmente con carga neumática que utiliza un cilindro de diafragma rodante (Gilbert, 2018).

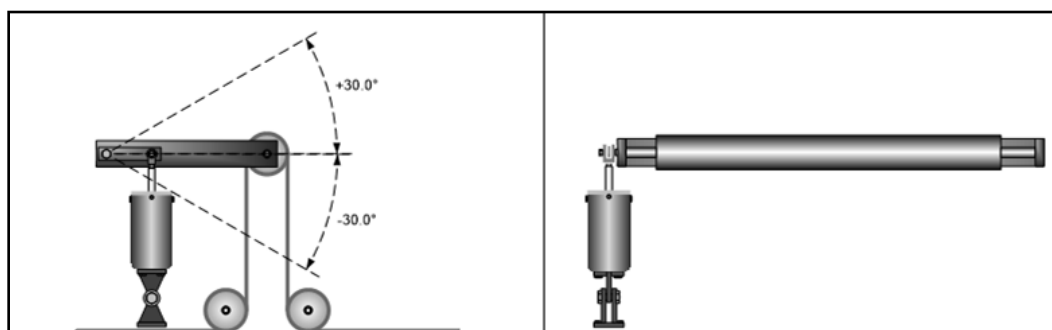


Figura 2.23 Sistema dancer horizontal.

2.6.2 Sistemas acumuladores

Los acumuladores se utilizan cuando una sección del proceso continuo debe detenerse, por ejemplo, para empalmar un nuevo rollo o eliminar un trozo de papel defectuoso. En el caso de que la sección de desenrollado se detenga, el acumulador se vacía para continuar el proceso. En el caso de que un rebobinador se detenga, el acumulador se llena. Después de que se realice el empalme, los acumuladores vuelven a su estado normal después de haber acelerado demasiado o poco la sección adecuada.

Hay dos tipos básicos de acumuladores de banda de papel, un tipo es en general un bailarín cargado con almacenamiento significativo, el otro tipo utiliza un carro controlado por posición conducida que está controlado por un sensor de tensión. Criterios de diseño y recomendaciones similares que se aplican a los sistemas de rodillos oscilantes se aplican al acumulador cargado con fuerza. En general, el acumulador estilo carro accionado opera con control de tensión de circuito cerrado y ofrece resultados superiores de control de tensión en las transiciones de velocidad de la banda. La figura 2.24 muestra un ejemplo de un acumulador accionado en una sección de desenrollado en la cual un conjunto de rodillos dancer acumulan la banda y amortiguan la velocidad variable de la máquina (Gilbert, 2018).

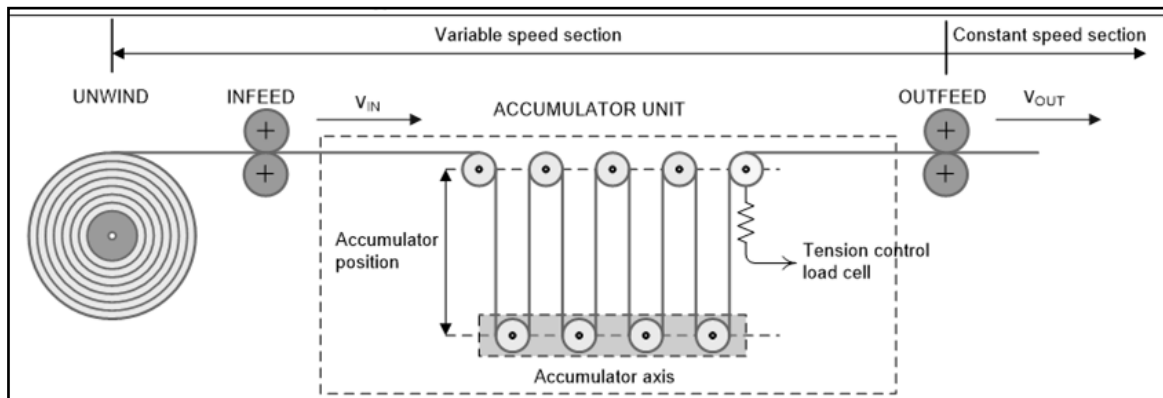


Figura 2.24 Unidad acumuladora con rodillos dancer.

2.6.3 Celdas de carga y transductores de tensión

Las celdas de carga y los transductores de tensión son sensores diseñados específicamente con el propósito de medir la tensión en una banda, transformando la fuerza de tensión en una señal eléctrica proporcional. La señal eléctrica se

amplifica y se utiliza para visualización o retroalimentación en el lazo de control de tensión.

La mayoría de los diseños de celdas de carga utilizan galgas extensométricas como elemento sensor. El elemento de galga extensométrica puede ser de lámina o semiconductor. Las celdas de carga normalmente se montan en pares y cada una soporta un rodillo libre (figura 2.25). Los pares se combinan y forman un puente completo de Wheatstone, algunas celdas de carga contienen un puente completo en cada sensor. Internamente, las galgas extensométricas están unidas a una estructura mecánica que se desvía cuando se aplica una fuerza de tensión. El puente informa la tensión como una señal eléctrica proporcional a la cantidad de fuerza aplicada (Gilbert, 2018).

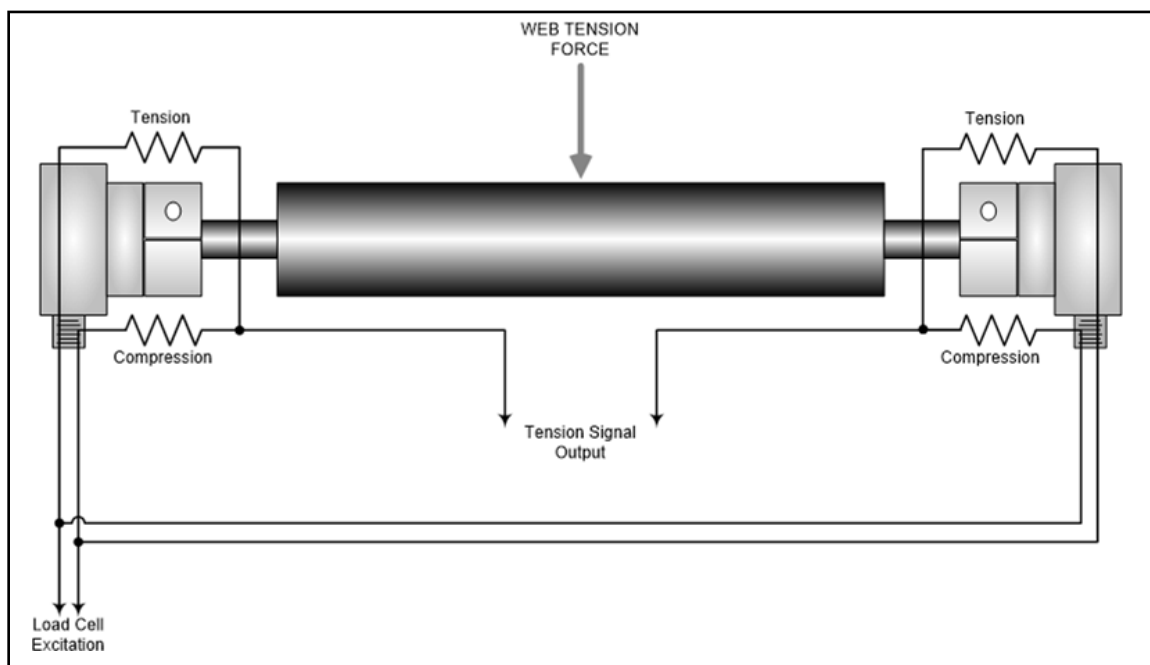


Figura 2.25 Rodillo libre y celdas de carga.

La salida de la señal del puente de la celda de carga es analógica en el rango de mv, típicamente hasta 250 mv en la salida nominal. En los sistemas tradicionales,

la señal de salida se enviaba a un amplificador analógico que proporcionaba una señal de voltaje al sistema de control de tensión. Hoy en día, la mayoría de los fabricantes de celdas de carga y empresas de terceros suministran amplificadores de celdas de carga con salidas a la mayoría de las redes industriales comunes. Los beneficios de los amplificadores basados en red son numerosos, se pueden montar en campo cerca de las celdas de carga, lo que reduce la longitud de los cables de señal de nivel miliVolts. La señal de red digital al controlador de tensión ofrece una mejor inmunidad al ruido que una señal de tensión analógica. Normalmente, el amplificador se puede calibrar mediante herramientas de software del controlador de tensión. La interfaz puede ser una señal directa al sistema de control PLC (Gilbert, 2018).

Las celdas de carga están disponibles en tipos de montaje de cartucho, almohada tipo panqueque, bloque y rollo en voladizo (ver figuras 2.26). El tipo de cartucho utiliza un rodillo libre de eje muerto, mientras que el tipo compacto se monta con un rodillo de eje vivo con los cojinetes en la carcasa de la celda de carga. El tipo en voladizo incluye un puente Wheatstone completo en la celda de carga única.

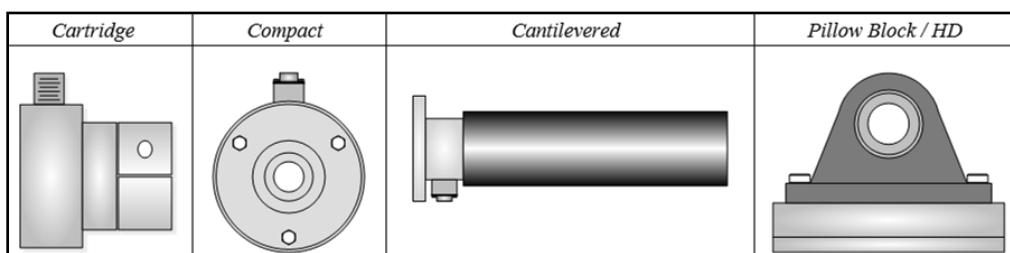


Figura 2.26 Tipos de montaje de celdas de carga.

Las celdas de carga se ofrecen en una amplia gama de tamaños de sensores de tensión o "rangos de fuerza", se refiere a la fuerza de tensión máxima,

normalmente denominada "MWF", máxima fuerza de trabajo. De manera óptima, la celda de carga debe seleccionarse lo más cerca posible de los requisitos de tensión máxima. Otra consideración en la selección de la celda de carga es el rango de tensión, los rangos varían de acuerdo con cada fabricante. Históricamente, los rangos de tensión de la celda de carga no eran más de 15:1. Ahora las celdas de carga están disponibles con rangos de tensión de 40:1 o incluso 50:1 y celdas de carga dobles (con dos sensores) de rangos superiores a 200:1 (Gilbert, 2018).

2.6.4 Bailarines vs celdas de carga

A menudo surge la pregunta de qué dispositivo de tensión ofrece la mejor precisión de control. La respuesta a la pregunta es complicada ya que cada uno está destinado a una aplicación diferente. La función de los bailarines es proporcionar almacenamiento para absorber transitorios y la celda de carga para la regulación de tensión en estado estable. Con un diseño adecuado, ambos pueden funcionar igualmente bien.

La capacidad de almacenamiento del sistema de rodillos dancer ofrece una clara ventaja sobre las celdas de carga en situaciones de transitorios de tensión de la banda o cambios rápidos de longitud de la banda, como los que se encuentran en los desbobinadores, empalmes a velocidad cero y sistemas de empalmes flotantes. El sistema de rodillo bailarín se usa más comúnmente en desenrollados y rara vez se usa en secciones de control de tensión de zona. Comprender e implementar buenos criterios de diseño a menudo limita el rendimiento del control de tensión en el sistema de balanceo. El sistema de rodillo dancer no proporciona una indicación de tensión directa.

Las celdas de carga son inherentemente más simples y tienen menos componentes en el sistema y su mantenimiento es bastante bajo. Sin embargo, pueden requerir una calibración periódica. Tienen la ventaja de una estabilidad inherente (menor ganancia) en el modo de control de par, ya que la medición y el control están en el mismo medio (fuerza). Las señales de medición pueden ser muy precisas y cubrir un amplio rango de control y ofrecer una excelente capacidad de control en condiciones estables de la banda de papel a cualquier velocidad. Las celdas de carga no requieren acumulador de banda y, por lo tanto, son difíciles de usar en operaciones de empalme y en aplicaciones con transitorios de tensión severos (Gilbert, 2018).

2.7 La tensión y los materiales

Todos los materiales de la banda se desplazarán o estirarán con una fuerza aplicada. La cantidad de este estiramiento dependerá de la fuerza aplicada y del módulo de elasticidad. La selección del modo de control de tensión de la maquina puede verse influenciada por varios factores, incluidas las especificaciones o el diseño, el tipo de sensor de tensión utilizado, si lo hubiera, pero normalmente el factor determinante principal será la conformidad del material de banda de material transportado.

Los modos de control de torque se aplican comúnmente cuando el material en banda tiene un cumplimiento muy bajo o es "no extensible", p. poliéster, papel pesado, acero, aluminio u otros metales. Con una banda no compatible, la mayor ganancia del sistema de un sistema con control de velocidad hará que el sistema tienda a la inestabilidad y sea mucho más complejo para optimizar el ajuste. Los modos de control regulados por corriente o par tienden a ser más estables en un rango más amplio de condiciones.

Al implementar los modos de torque, considere el modo de circuito cerrado con retroalimentación de tensión si la precisión de la tensión es crítica. Se prefiere el modo de regulación de la tensión a través del control de velocidad cuando la banda es muy flexible o extensible. En este caso, la mayor ganancia del sistema del controlador de velocidad de las unidades ayuda con las demandas de banda de papel que sea compatible (Gilbert, 2018).

CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción de materiales seleccionados

A continuación, se presenta el estudio de los materiales y detalles de funcionamiento, que fueron usados en el proyecto. La descripción de ellos es breve, de manera que si el lector se interesa en algún tema de ellos, puede seguir la referencia. Los diagramas eléctricos por ser grandes, solo se mencionan y se acompañan con una figura.

3.1.1 El sensor inductivo

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo.

Contienen un devanado interno. Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado, que tiene la dirección de las flechas. Cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, éste es detectado. La bobina, o devanado, del sensor inductivo induce corrientes de Foucault en el material por detectar. Estas, a su vez, generan un campomagnético que se opone al de la bobina del sensor, causando una reducción en la inductancia

de esta (figura 3.1). Esta reducción en la inductancia de la bobina interna del sensor trae aparejado una disminución en la impedancia de ésta.

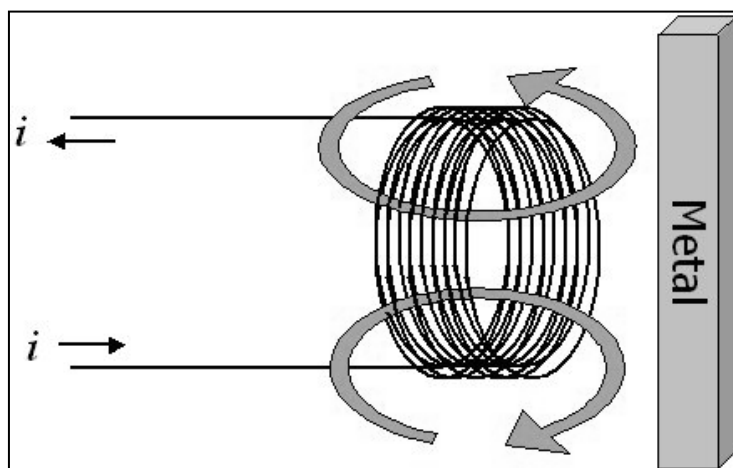


Figura 3.1 Principio del sensor inductivo

El sensor seleccionado lo tenemos ya en planta refaccionado, es de uso común, tiene una alta velocidad de conmutación, distancia de censado típica 1.5 mm, 8 mm de grosor, a 24 VDC tipo PNP normalmente abierto, con indicación de luz led visible para mostrar que fue actuado, construido en acero y superficie de censado de PVC, protección interna por sobrecarga, entre otras. Como lo muestra la figura 3.2.

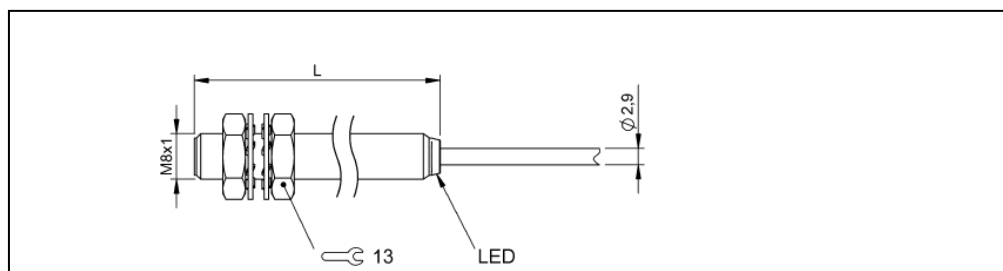


Figura 3.2 Sensor inductivo seleccionado

3.1.2 El controlador

El PLC seleccionado para la automatización es un SIMATIC S7-300 (figura 3.3) de Siemens que ya teníamos en planta y el cual fue adecuado porque está concebido para soluciones de sistema innovadoras con especial énfasis en tecnología de fabricación y, como sistema de automatización universal, constituye una solución óptima para aplicaciones en estructuras centralizadas y descentralizadas. Es el controlador más vendido de la plataforma Totally Integrated Automation (TIA) y cuenta con numerosas aplicaciones de referencia satisfactorias en los más diversos sectores industriales de todo el mundo, p. ej.: La industria de Pulpa y Papel.

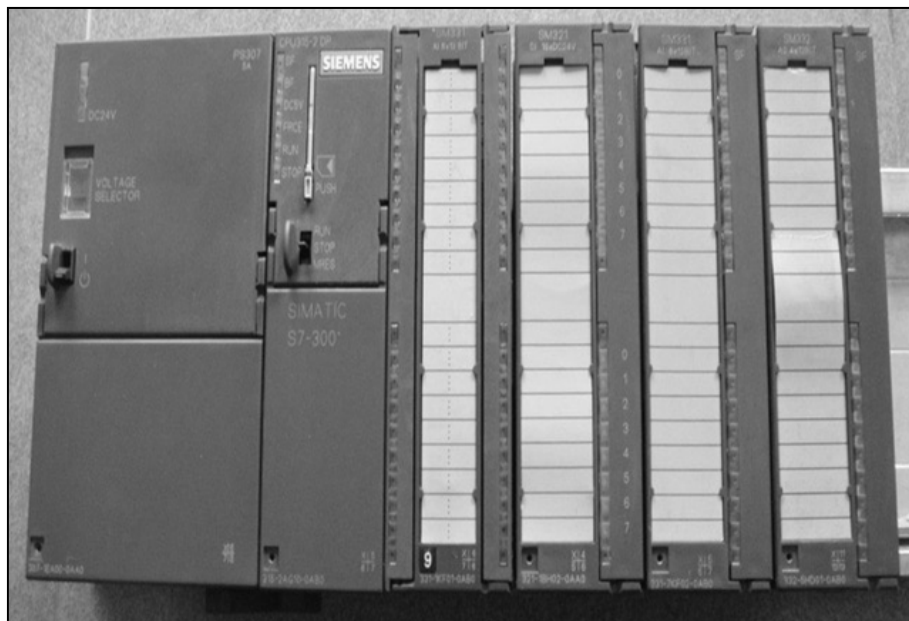


Figura 3.3 PLC S7-300

3.1.3 Convertidor voltaje a presión (E / P)

Convierte una señal de entrada de voltaje a una salida neumática linealmente proporcional de presión. Este instrumento versátil está diseñado para aplicaciones de control que requieren un alto grado de fiabilidad y repetitividad en un costo económico, se puede revisar sus partes internas en la figura 3.4 para identificar sus componentes. Estas unidades se utilizan para aplicaciones que requieren el funcionamiento de actuadores de válvulas, posicionadores de válvulas neumáticos, amortiguadores y actuadores de persiana, elementos de control final, relés, cilindros de aire, web tensores, embragues y frenos.

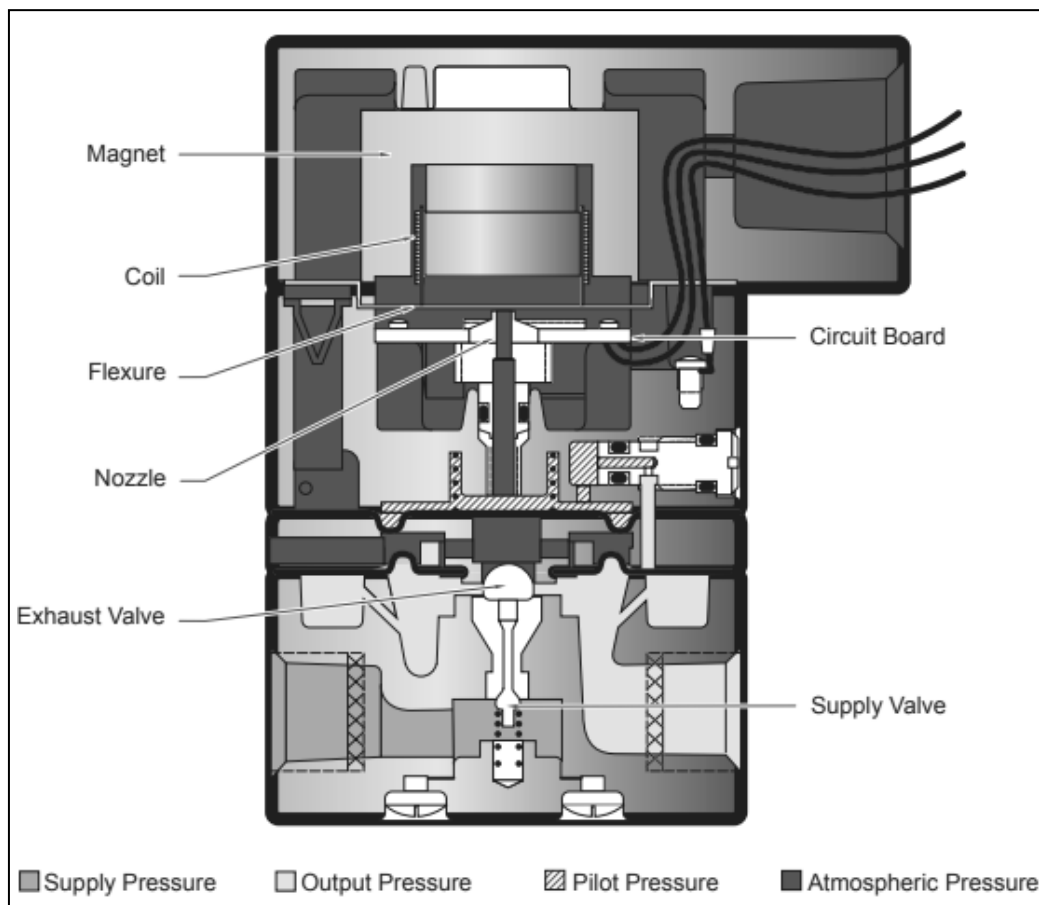


Figura 3.4 Convertidor E/P

Características: Amplificador de volumen integral, tamaño compacto, bajo consumo de aire, campo reversible, ajustes flexibles de cero y span, entradas de proceso estándar, rango dividido, siendo las principales

3.1.4 El Actuador final de control

Los frenos neumáticos seleccionados tx-180 (figura 3.5) presentan 4 discos internos de 180 mm de diámetro cada uno, un máximo de 6 pistones y un sistema de enfriamiento de doble ventilación. Está diseñado para aplicaciones standard y todos los sectores de procesos de conversión de papeles. Es ideal para rebobinadores, desbobinadores y otras aplicaciones de alta velocidad de hasta 300 mt/min, 24 horas /día.



Figura 3.5 Conjunto de freno neumático.

Gracias a la baja temperatura, disipada por el par de ventiladores configurados en push/pull, el control de tensión del proceso se mejora a cualquier

velocidad de línea, el conjunto se mantiene frío aun a bajas velocidades y se evita que se patine, más vida de sellos de pistones de presión y menos polveo (figura 3.6). También el desgaste la contaminación dentro del freno se ve drásticamente reducida. Es 100% intercambiable y adaptable con todos los frenos existentes en el mercado.



Figura 3.6 Ventiladores y disipación de energía.

3.2 Programador Field PG y sistema de programación

3.2.1 El programador Field PG

Gracias a su carcasa de magnesio, SIMATIC Field PG es el portátil industrial que mejor soporta todo tipo de condiciones industriales, incluso las más extremas (choques, vibraciones o perturbaciones electromagnéticas), y que automatiza todo tipo de tareas a través de conexiones PROFIBUS y PROFINET. En el departamento tenemos 2. En uno de ellos se realizaron los primeros programas y reside el

programa final y su respaldo debidamente grabado en un directorio de trabajo. La figura 3.7 ilustra en PG1 en el cual fue desarrollada la lógica de control.

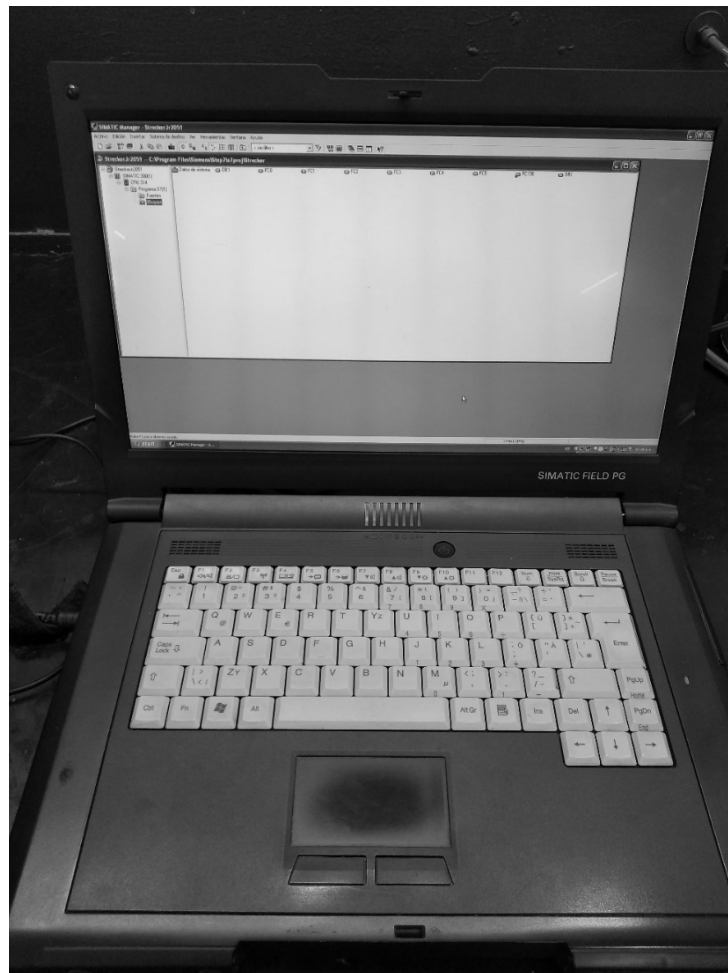


Figura 3.7 Programador Field PG1.

3.2.2 El TIA Portal

Es un nuevo sistema de ingeniería de última generación que ha desarrollado Siemens para que los usuarios puedan llevar a cabo la ingeniería, puesta en marcha, operación y monitorización de todos los

componentes de automatización y accionamientos a través de una única plataforma de control. Integra distintas aplicaciones de software industrial para procesos de producción en un mismo interfaz, facilitando en gran medida el aprendizaje, la interconexión y la operación, sin una variedad amplia de sistemas de diferentes orígenes. En el PG1 tenemos instalada la V13.

3.2.3 Step 7

Es el componente de software para programación y configuración del TIA Portal. El TIA Portal, además de Step 7, también contiene WinCC para el diseño y la ejecución de la visualización de procesos en runtime, con ayuda en pantalla para WinCC y Step 7.

Step 7 ofrece un entorno confortable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como controladores y dispositivos HMI. Para poder encontrar la información necesaria, Step 7 ofrece un completo sistema de ayuda en pantalla. Step 7 proporciona lenguajes de programación estándar, que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control, maneja 3 tipos de lenguaje:

- a. KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. Su representación es similar a los esquemas de circuitos.
- b. FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.

- c. SCL (Structured Control Language) es un lenguaje de programación de alto nivel basado en texto. Al crear un bloque lógico, se debe seleccionar el lenguaje de programación que empleará dicho bloque. El programa de usuario puede emplear bloques lógicos creados con cualquiera de los lenguajes de programación.

3.3 Herramientas y materiales eléctricos

A continuación, se puede encontrar la información relacionada a instrumentos eléctricos que fueron de utilidad para realizar mediciones, calibraciones, ajustes y pruebas de todos los elementos eléctricos y de control que el proceso integra. Fueron utilizados en banco y en campo. Ya las teníamos en taller por lo que se comenzaron a usar de inmediato y no incrementaron el costo del proyecto.

3.3.1 El multímetro digital

El multímetro digital de valor eficaz verdadero Fluke 175 (figura 3.8), es el instrumento de medición que tenemos como herramienta personal de cargo, es el punto de partida para los técnicos profesionales de todo el mundo. Además de incluir todas las funciones necesarias para solucionar problemas y reparar muchas averías de los sistemas eléctricos y electrónicos, el multímetro digital Fluke 175, con clasificación CAT IV 600V/CAT III 1000 V, también ofrece lecturas precisas de valor eficaz verdadero gracias a años de servicio confiable.

Con este instrumento de medición se realizaron muchas pruebas y lecturas de tarjetas de control, fuentes, el voltaje del simulador y voltaje de llegada a la servo válvula de control de presión, también se utilizó en la construcción del divisor de voltaje para atenuar la señal cuando los rollos en las estaciones están demasiado diferentes en diámetro y ancho.

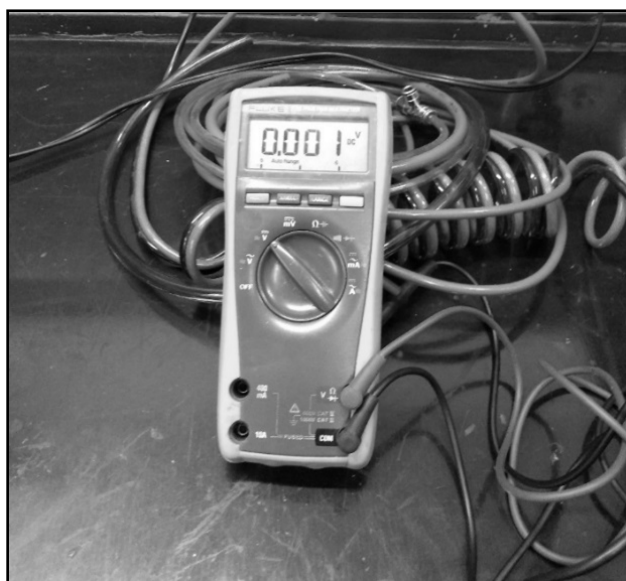


Figura 3.8 Multímetro digital.

3.3 2 Simulador de 0-10V CD

El Calibrador de proceso multifuncional PIECAL 820 (figura 3.9) es la herramienta que empleamos para realizar pruebas en banco de trabajo y de campo. Con este Instrumento se logró caracterizar el comportamiento de la servo válvula en modo stand alone o en solitario, fue útil también en el análisis de fallas de campo para probar cada estación individualmente ya modernizadas antes de conectarle las señales de control de diámetro del controlador programable.

Físicamente incluye un protector de hule, un desplegado con dígitos más grandes, mayor exactitud y más intervalos para mayor flexibilidad. Integra las funciones de medición/simulación para las siguientes variables: Corriente, voltaje, frecuencia, termopares, RTD's, continuidad. En este proyecto en particular nos fue muy útil la función de V DC que requeríamos para actuar la servo válvula y como es portátil nos brindó gran poder de movilidad, ya que era difícil estar manipulando una fuente variable conectada a la red 110 VCA.



Figura 3.9 Calibrador de procesos.

3.3.3 Diagramas de conexiones eléctricas

Comentaremos brevemente que se diseñan dos caminos para controlar la presión de frenado en los conjuntos de los desbobinadores (figura 3.10), el automático y el manual, esto debido a que esta máquina cortadora en particular la han estado trabajando con rollos de baja productividad o a recuperación, los cuales

generalmente son pocos rollos y se tienen que montar en máquina con diferencias de diámetro, ancho y longitud, y por ello comenta operación de la necesidad de un control manual para poder trabajar la cortadora cuando estas situaciones ocurran, entonces se agrega en el diseño un potenciómetro para ajustes manuales configurado en el tradicional divisor de voltaje electrónico ya que así es la señal de entrada de la servo válvula (figura 3.11). Se indica el cómo se va a conectar, será lo último a documentar una vez terminada la implementación.

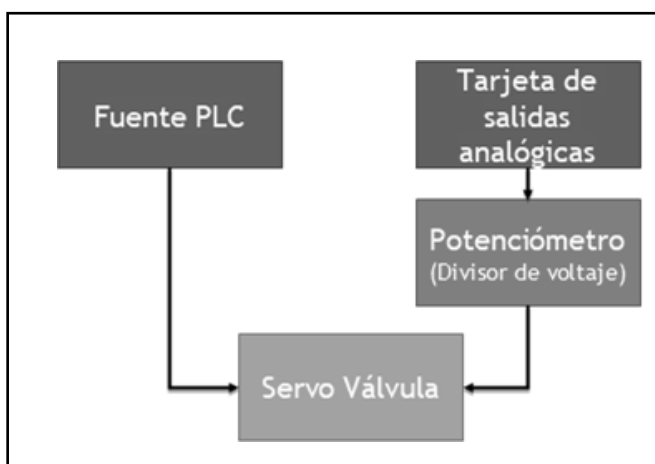


Figura 3.10 Diagrama a bloques conexiones eléctricas.

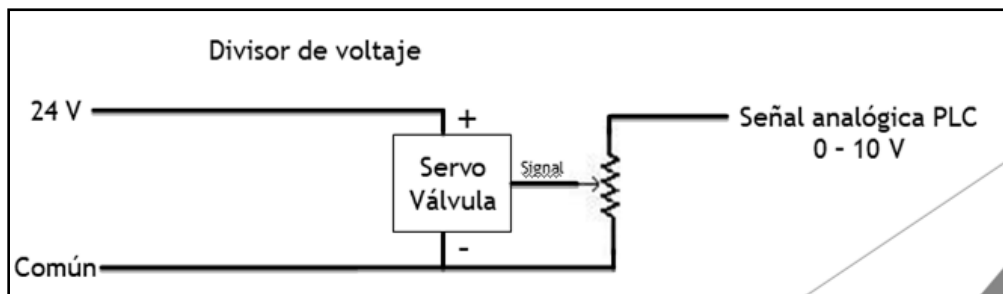


Figura 3.11 Esquema eléctrico del divisor de voltaje.

3.3.4 Gabinete Eléctrico

El gabinete es una caja de conexiones grande que en su interior soporta los elementos y accionamientos eléctricos que tiene integrado la cortadora. Se representa el lugar que ocupara la Instalación del PLC S7-300 dentro del gabinete principal, esta máquina es muy manual en todos sus accionamientos por lo que se dificulto el abrir un espacio donde se llevara a cabo la instalación (figura 3.12). Se realizó reacomodo de contactores y peinado de cables en el área, también se aprovechó para fabricar algunas identificaciones faltantes, dar mantenimiento a esa zona reapretando tornillería de componentes y realizando limpieza y fijación de elementos, quedando listo y en espera de su controlador.

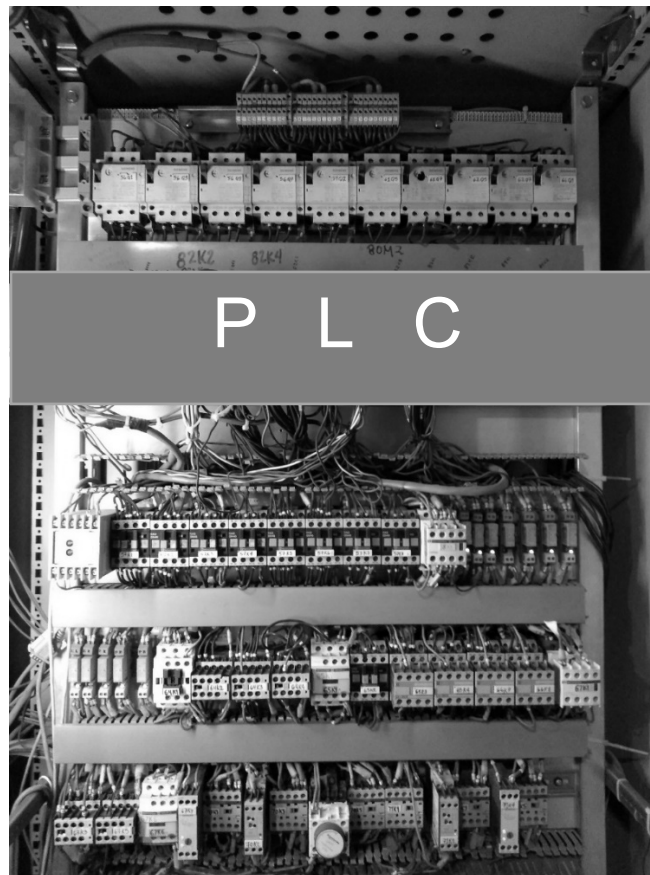


Figura 3.12 Gabinete eléctrico.

3.4 Selección de materiales neumáticos

Una de las razones más importantes para utilizar la compresión de aire en lugar de electricidad es la seguridad. En aplicaciones donde el equipo está sobrecargado, el equipo eléctrico representa un riesgo de seguridad. Pueden ocurrir descargas eléctricas o incendios que dañen la propiedad o causen lesiones al personal. El aire comprimido y las herramientas neumáticas se pueden utilizar bajo muchas condiciones, como en suelos mojados o en zonas de alta humedad.

En segundo lugar, el aire comprimido es más flexible y más fácil de usar en zonas remotas, como minas y sitios de construcción. Las herramientas neumáticas son más frías y tienen la ventaja de la velocidad y el par variables. Piense en las perforadoras o en equipos de impacto similares: sería casi imposible desarrollar una fuerza equivalente con la electricidad, especialmente en áreas remotas.

Las herramientas alimentadas con aire comprimido también son más ligeras. Se pueden fabricar con materiales que las hacen más ergonómicas y menos pesadas, lo que equilibra el coste del aire con el coste de la mano de obra al reducirse la fatiga del trabajador cuando utiliza estas herramientas más ligeras.

Por último, está el coste. El coste equivalente al aire comprimido puede ser de 7 a 8 veces el de la electricidad. Sin embargo, el equipo diseñado para utilizar aire comprimido tiene un coste menor. Se utilizan menos piezas debido a la simplicidad del diseño. Además, las herramientas neumáticas suelen ser resistentes y duran más tiempo en entornos de producción.

3.4.1 Tubing neumático

La manguera neumática, también conocida en ocasiones como tubing neumático o en inglés como pneumatic tubing, es el medio por el cual el aire comprimido fluirá en un sistema neumático para alimentar los diferentes elementos. Está en conjunto con algún tipo de conector rápido o conexión neumática tienen el objetivo de conectar los diferentes componentes neumáticos. Esta se puede encontrar en diferentes diámetros y en diferentes materiales.

El diámetro está directamente relacionado con la cantidad de flujo de aire. Es decir, a mayor diámetro se tendrá mayor flujo de aire. Es de suma importancia elegir el diámetro adecuado dependiendo de la aplicación y de los componentes que se alimentaran para que estos funcionen de la mejor manera. Resaltando que, si se va a suministrar aire a un cilindro neumático, el flujo de aire estará directamente relacionado a la velocidad en la que este pueda actuar. Sin olvidar que se debe también elegir las conexiones, válvulas y componentes adecuados al tamaño de la manguera. Ya que, aunque se tenga una manguera de gran diámetro, si se tiene un puerto pequeño este podrá estrangular el flujo.

En cuanto a materiales se refiere, el más utilizado en el área de la neumática es la manguera de poliuretano. Sin embargo, también se tienen otros materiales como nylon, teflón, polietileno, entre otros. La manguera neumática de poliuretano es una de las más utilizadas por sus características y específicamente por ser flexible. La flexibilidad de este material permite realizar con mayor facilidad la interconexión entre componentes.

La selección del tipo y diámetro dependerá en gran medida de su aplicación, la presión del fluido que transportará, la temperatura del fluido y del ambiente de

trabajo, entre otros factores. Hay que recordar que cualquier material de manguera a mayor temperatura del ambiente, menor presión resistirá la manguera neumática. La manguera de nylon destaca por ser una mejor opción en ambientes con temperatura mayor a la considerada estándar, mayor a 80°C.

Así cómo, ideal para trabajar con fluidos a alta presión y a alta repetitividad de ciclos. Esto debido que su presión máxima de trabajo es de 250 psi. No obstante, la manguera neumática nylon es mucho más rígida. Los diámetros exteriores del tubing flexible varían de 2 mm hasta 16 mm (poliuretano o nylon), Los colores disponibles en poliuretano son azul translucido, celeste sólido, amarillo sólido, negro sólido, transparente y rojo sólido. Estos le facilitan la identificación en gabinetes o máquinas. Utilizaremos lo que ya se encuentra en planta.

3.4.2 Racores neumáticos

Las conexiones neumáticas, también conocidas como racor neumático o en inglés como pneumatic fitting, es un componente utilizado en los sistemas neumáticos para realizar la interconexión de sus elementos tales como cilindros, válvulas, unidades de mantenimiento, entre otros. Su uso principal es para aire comprimido, pero en algunas ocasiones se pueden utilizar con algunos otros fluidos. Estos se pueden encontrar en diferentes formas para facilitar la conexión de estos. Así mismo, en diferentes tamaños y diámetros de manguera para suministrar el flujo o caudal necesario que requiera su sistema. Sin olvidar que su cuerpo también puede ser en diferentes materiales como lo es metálicos o plásticos.

Son fabricados en diferentes tipos y en gran variedad de tamaños con opción en conector metálico y plástico. Los fabricantes ofrecen conexiones neumáticas

para manguera métricas o estándar con roscas M5, 1/8, 1/4, 3/8 y 1/2. Con roscas tipo R, NPT y G. Así como, para mangueras métricas: 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm y 16 mm. Como opciones en estándar 1/8", 5/32", 1/4", 5/16", 3/8" y 1/2".

La conexión neumática también puede ser utilizada para diferentes materiales de manguera como lo son poliuretano y nylon. Siendo el poliuretano el más utilizado en los sistemas neumáticos debido a sus características, así como a su flexibilidad. Sin embargo, se debe elegir la manguera adecuada dependiendo de las condiciones del entorno en que trabajara como lo son presión y temperatura. Utilizaremos lo que ya hay en planta.

3.4.3 Manómetros analógicos

Un manómetro de presión es un indicador analógico y también un instrumento utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente que han estado en uso durante décadas. El manómetro de presión se encuentra entre los instrumentos más utilizados en una planta. Pueden verse comprometidos debido a su gran número, la atención al mantenimiento y a la fiabilidad.

La vida del manómetro de presión con aceite es más larga, no sólo porque tiene menos partes móviles, sino porque su carcasa está llena de un aceite viscoso o glicerina. Este relleno de aceite es beneficioso no sólo porque amortigua las vibraciones punteras, sino también porque no deja espacio para la entrada de aire húmedo. Como resultado, el agua no se puede condensar y acumular.

Entre las numerosas aplicaciones de los manómetros comerciales se encuentra la instalación en bombas, compresores portátiles, maquinaria industrial, sistemas hidráulicos y neumáticos, instrumentación y depósitos presurizados. Para el usuario esto significa una mayor resistencia a los impactos mecánicos y las vibraciones. El aumento de la resistencia a los efectos del uso accidentado contribuye a una mayor vida útil.

Los manómetros de uso generales pueden utilizarse en: calderas de vapor u otros depósitos presurizados; bombas y compresores; muchos tipos de maquinaria industrial; industria química, petroquímica y de procesos asociados; centrales eléctricas y fábricas de pulpa y de papel. El sistema de accionamiento del manómetro de la línea de manómetros de uso general es el sistema estándar de tubo de Bourdon 316 SS, diseñado con tolerancias exactas para una repetitividad y respuesta constantes a las fluctuaciones de presión.

Advertencia: Todos los componentes del manómetro deben elegirse teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento de los medios y ambientales a las que se van a exponer para evitar una mala aplicación. Una aplicación incorrecta puede ser perjudicial para el manómetro, causar fallos y posibles lesiones personales o daños materiales.

Los manómetros se encuentran con mucha frecuencia en las fábricas. Hay miles de ellos instalados en todo el mundo para supervisar las presiones de proceso. Disponibles para medir la presión de vacío, compuesta y en rangos de hasta 20 000 psi (1380 bar).

También existen manómetros de alta precisión diseñados para su uso en talleres de instrumentos, plantas de todo tipo y laboratorios de toda la industria. La mayoría de los modelos proporcionan una precisión constante hasta el 0,25 % de la escala completa. El Rendimiento, la fiabilidad y la medición de precisión se complementan con una precisión constante para satisfacer las exigentes necesidades de servicio de numerosas aplicaciones de manómetros de pruebas. Estos dispositivos se utilizan con frecuencia como manómetros de referencia principal en mediciones de bancos de pruebas, para la inspección de producción y para verificar la precisión de los manómetros de uso general. Tienen un anillo de espejo de acero inoxidable para reflejar el puntero y evitar así un error de paralaje. Esta superficie espejada refleja el puntero en cualquier posición y permite leer el manómetro con gran precisión.

3.4.4 Manómetros digitales

Los manómetros digitales son los instrumentos más utilizados como medidores de presión portátiles en la industria y en muchas actividades. El manómetro digital es un dispositivo que integra en un mismo elemento tanto el sensor de presión (eléctrico o electromecánico) y un dispositivo electrónico que dotan al instrumento de diferentes funciones interesantes para el usuario (valores mínimos y máximos, cambio de resolución, cambios de unidad). En función del sensor utilizado el indicador digital debe tener una tecnología de medida integrada u otra.

Los manómetros digitales tienen dos entradas de presión en las cuales se pueden conectar diferentes presiones y medir las diferentes presiones de dos cámaras, por ejemplo.

En cuanto a su exactitud y precisión es necesario calibrar manómetro digital para trabajar conforme a un sistema de calidad. Es recomendable que la calibración manómetro digital sea realizada por laboratorios de calibración acreditados. En el proceso de medición no es tan importante la precisión de la medida sino la fiabilidad del resultado y que el técnico conozca bien los distintos conceptos estadísticos y metrológicos.

3.4.5 La válvula y electroválvula neumática

Válvulas o en inglés valves son componentes utilizados para el control del paso de fluidos. Las válvulas pueden ser accionadas por una señal eléctrica, por una señal neumática o de aire, mecánicamente, etc. La señal eléctrica es mediante una bobina. La señal neumática es mediante un pilotaje de aire. Existen varias maneras de accionar una válvula mecánica como lo son: válvula de botón, válvula de pedal, válvula de rodillo, válvula selectora, válvula de palanca y otras más.

En el caso de las válvulas solenoides o electroválvulas, estas son accionados por una señal eléctrica. La apertura o cierre de la válvula se realiza mediante la acción de una bobina. Al enviar una señal eléctrica se genera un campomagnético en la bobina que atrae un émbolo, dentro del núcleo eléctrico de la válvula, provocando que la válvula cambie de su posición de inicio.

Existen diferentes tipos de válvulas solenoides o electroválvulas. Se deberá seleccionar la válvula dependiendo del fluido que se va a manejar, presión de trabajo y aplicación que efectuará. Algunas de las características generales a considerar se mencionarán a continuación.

Se encuentran con diferentes configuraciones o posiciones. Se seleccionará la que es accionada por una sola bobina o por doble bobina, dependiendo de la aplicación. Algunos ejemplos que destacan son:

2/2 – Válvula 2 vías 2 posiciones

3/2 – Válvula 3 vías 2 posiciones

4/2 – Válvula 4 vías 2 posiciones

5/2 – Válvula 5 vías 2 posiciones

5/3 centro cerrado – Válvula 5 vías 3 posiciones con centro cerrado

Centro abierto 5/3– Válvula 5 vías 3 posiciones con centro abierto

Presurizado 5/3 centro presurizado – Válvula 5 vías 3 posiciones con centro presurizado.

Ciertas configuraciones de electroválvulas, como lo son las 2/2 y 3/2, se deben seleccionar si éstas estarán normalmente abierta o normalmente cerrada. La válvula solenoide normalmente abierta cambia de estar abierta, pasando fluidos, en su posición inicial, a cerrarse. Por el contrario, la válvula solenoide normalmente cerrada, de bloquear el flujo de fluidos, en su posición inicial, se abre y permite ahora su paso.

Las válvulas accionadas por bobina con regreso por resorte regresarán a su estado inicial al quitar la señal eléctrica. Si son electroválvulas 3/2 o 5/2, de doble bobina, se mantendrán en el estado al que cambio sin necesidad de mantener la señal eléctrica. Si son electroválvulas 5/3, pudiendo ser de centro cerrado, centro abierto o centro presurizado, necesitan ser de doble bobina. En las 5/3, el estado

inicial siempre es el centro de la válvula, y, para mantener una posición diferente a ésta, se requiera mantener constante la señal eléctrica que la accionó. Al remover la señal eléctrica, un resorte regresará la válvula a su centro (estado inicial).

Es importante indicar el voltaje necesario con el que se alimentará la válvula, para su correcto funcionamiento. Las bobinas (en idioma inglés, coils) pueden ser de corriente directa (DC) o corriente alterna (AC). Se tiene opciones de válvula en DC12V, válvula DC24, válvula AC24V, válvula AC110V o válvula AC220V. De acuerdo con la alimentación de la máquina o el dispositivo, se seleccionará el voltaje de la válvula.

El tamaño de puerto está en parte relacionado con la capacidad de flujo que tendrá la electroválvula. Aunque no sólo esto definirá su capacidad, ya que hay otros factores que influyen, como la presión de operación. El tamaño de rosca o de puerto sí hace referencia al tamaño de cuerpo de la electroválvula o al flujo de suministro. Usualmente, las electroválvulas se fabrican con puertos roscados, de tipo hembra, y se presentan en diferentes tamaños.

Nota importante: si usted realiza la medición de las roscas, hembras o machos, con un instrumento de medición, tal como vernier, regla o cinta métrica, el resultado será la medida real o nominal, pero no la del tamaño de tubería. Por ejemplo, con una rosca de 1/4" NPT (tamaño de tubería), la medición real aproximada será de 0.500" (1/2").

Sin duda, el fluido (líquido o gas) a transportar se debe de considerar al momento de seleccionar la válvula a utilizar. Esto debido a que se debe verificar que los materiales del cuerpo, componentes internos y empaques sean compatibles

con el fluido. En ocasiones, hay ciertas válvulas solenoides, llamadas de Uso General, que se pueden emplear para transportar diferentes fluidos, por igual, común utilizadas en cuerpo de Bronce. Hay ciertos líquidos o gases que requieren parámetros especiales, y es necesario emplear válvulas especiales, comúnmente utilizando cuerpo de acero inoxidable. Además, se tiene electroválvulas para aire comprimido, o también conocidas como neumáticas. También existen válvulas solenoide para agua, válvulas para aceite, ácidos, químicos, gas, válvulas para vapor, gasolina, diésel, entre otros.

3.4.6 Servo válvula E/P

Son elementos electroneumáticos que convierten una señal eléctrica en aire comprimido con una presión directamente proporcional a la señal eléctrica recibida. La presión neumática de salida es conectada directamente al actuador de freno quien se encarga de aplicar la fuerza de frenado en la estación desbobinadora, la figura 3.12 nos muestra su diagrama neumático. Su caracterización y calibración se realizó en el taller, utilizando un actuador de válvula automática solo como elemento final de control a prueba, se comprendió su funcionamiento y se corroboró que su salida es lineal al comportamiento de la señal de entrada.

Características: Diseño compacto, precisión en la tensión, alimentación 24 VDC, recibe señal analógica de 0 a 10 v DC, Presión de salida de 0 -6 Bar.

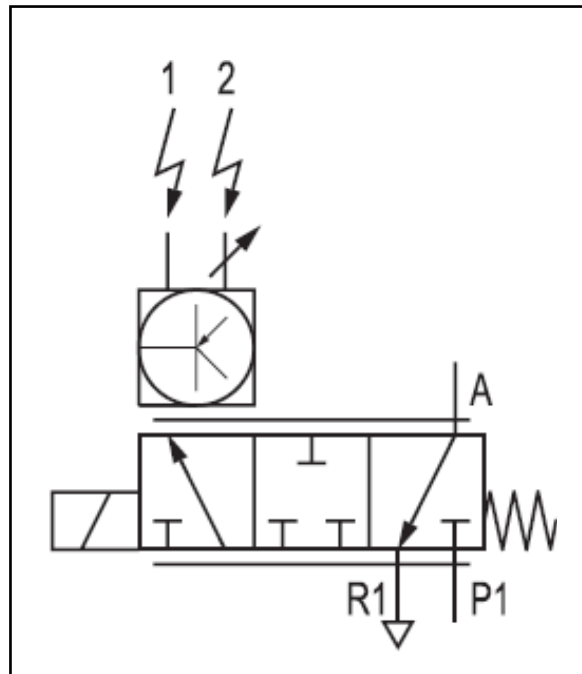


Figura 3.13 Diagrama neumático de servo válvula E/P.

3.4.7 El actuador de freno

Para mantener la tensión del material desenrollado, se necesita un elemento que actúe como freno de la bobina. Este trabajo es efectuado por el actuador final de control. Se investiga y se encuentran varias opciones con diferentes tecnologías que se describen brevemente a continuación.

Polvo magnético. Compuesto por varios discos espaciados, y entre ellos polvo magnético que mediante una bobina se magnetiza provocando la frenada. La principal ventaja de este tipo de freno es la gran linealidad de que se dispone. Por contra, solo es apto para desbobinadores de pequeño tamaño, y para materiales plásticos o similares.

Neumáticos. Están compuestos por un disco, unido con el eje, y varias mordazas con cilindro neumático. Mediante una válvula proporcional, se aplica presión controlada que cierra la pinza, y frena el disco. Con este sistema se llega a pares de frenado muy elevados, en cambio se renuncia a una buena linealidad. Normalmente se utiliza en aplicaciones de papel cartón y materiales gruesos.

Motorizados. Con esta opción, el par de frenado se realiza con un motor, trabajando como generador. De esta manera se combinan las anteriores ventajas; muy buena linealidad, y grandes posibilidades de potencia de frenado. Además, se añaden otras ventajas como son la eliminación de problemas de temperatura y desgaste de los frenos. La desventaja es en que es para maquinas muy grandes y la inversión en equipo es muy fuerte además del consumo de energía.

Motorizados regenerativos. Se pueden ampliar las ventajas del freno motorizado, al combinarlo con equipos regenerativos. Esto permite recuperar la energía de frenado, y consumirla en el resto de la máquina, con el correspondiente ahorro que supone. Independientemente del tipo de freno escogido, se calcula el diámetro y gramaje del material, para poder anticipar señales de parada por diámetro o metros. Estas señales se pueden utilizar para parar la máquina, o bien para el cambio automático. La desventaja es en que es para maquinas muy grandes y la inversión inicial es grande.

3.5 Descripción de métodos del proyecto

Se muestra la estructura por medio de la cual se organizó la investigación, pretendiendo ordenar las etapas, aportar instrumentos para manejar la información, llevar un control de los datos y orientar la obtención de conocimientos, el proceso

de realización, la puesta en marcha, revisión de resultados y generación de información por etapas, del cómo lo vamos a hacer.

Primer Etapa.

Examinar en planta cuales procesos son candidatos para actualizar.

Seleccionar y proponer un proyecto.

Reunir a las áreas involucradas, notificar la propuesta a desarrollar.

Si se acepta propuesta, entrar de lleno a la búsqueda de información.

Segunda Etapa.

Revisar el equipo original instalado.

Conocer la filosofía de operación.

Revisar reportes históricos de fallas y de calidad.

Investigar máquinas similares en medios de difusión públicos.

Tercer Etapa.

Analizar costo de refacciones para conocer impacto de inversión

Elaborar y proponer un plan de trabajo

Diseñar cronograma de actividades

Buscar información que se adapte al proyecto.

Crear notas e ideas importantes, buscar imágenes.

Cuarta Etapa.

Seleccionar materiales y equipos

Configurar, armar y montar instrumentos

Instalar de PLC y lógica digital

Efectuar conexiones eléctricas y neumáticas

Mejorar paneles de operación

Realizar mediciones y pruebas

Quinta Etapa.

Arranque del proyecto

Ajustar detalles

Comparar resultados nuevos vs históricos

Demostrar el impacto en productividad

Dar continuidad y apoyo a operación

Sexta Etapa.

Sintetizar información técnica para operación y mantenimiento

Seleccionar la información recabada y redactar informe para la Empresa.

Atender las notas proporcionadas por el Director de Tesis.

Crear el documento final.

3.6 Elaboración de un cronograma de actividades

De las actividades pensadas para realizar la implementación el proyecto, se estructuró y diseñó un cronograma de actividades a desarrollar en un periodo de 12 meses, tiempo durante el cual se logren realizar las modificaciones pertinentes de acuerdo al estudio y lleguen las partes seleccionadas de parte de los fabricantes, ya que muchas veces no se tiene la cantidad requerida en stock y no es deseable para ningún proyecto el quedar cortos de tiempo.

Dicho cronograma (figura 3.14), es una propuesta para ir delimitando tiempos de actividades y poder administrar la implementación, se realizó proyección a un año, debido a que se nos avisó que en planta venia un proyecto muy grande de construcción de una nueva nave de preparación de pastas kraft y todos los recursos de re direccionaron hacia ese proyecto por lo que se estimaron de esa manera las actividades.

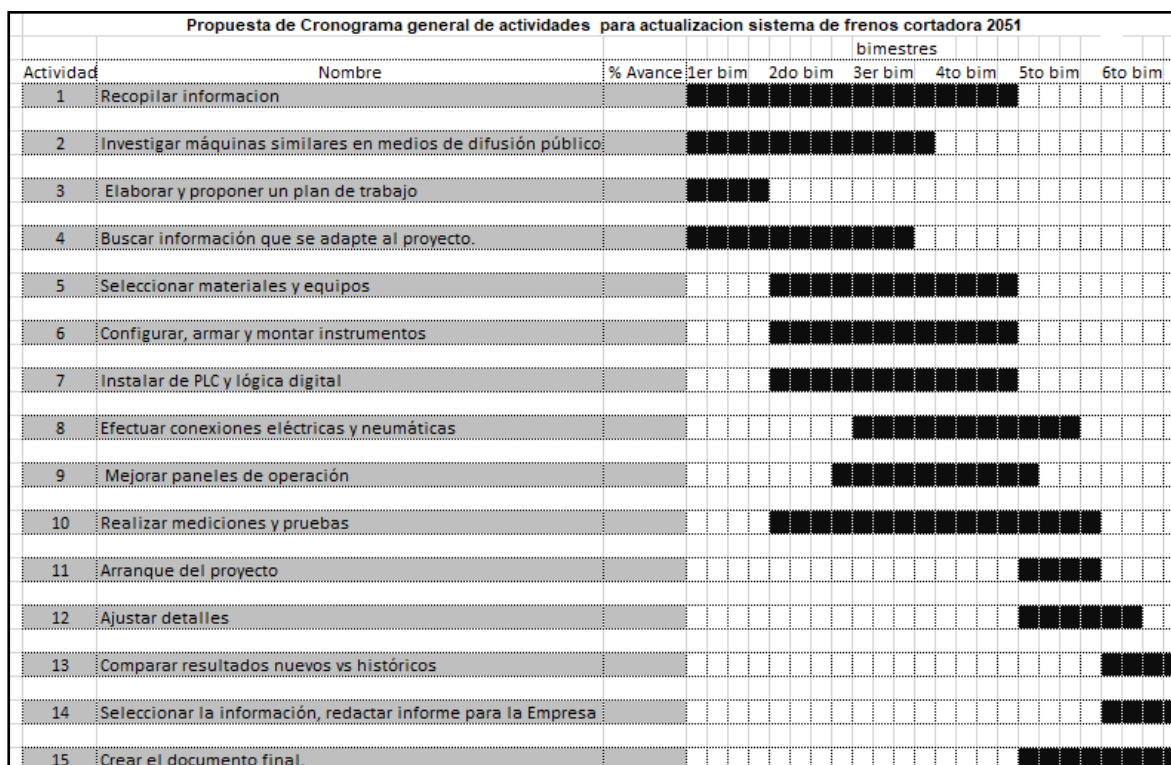


Figura 3.14 Cronograma propuesto de actividades.

3.7 Técnicas de investigación usadas

La técnica documental nos permitió recopilar información libre y publica para sustentar el estudio de los fenómenos y procesos, incluyendo el uso de instrumentos ya definidos y usados en planta. La técnica de campo nos permitió observar en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que orientaron a confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de los objetivos.

3.8 Tipos de observación aplicadas

La observación es el elemento fundamental de todo proceso investigativo, gracias a ella se obtuvieron muchos datos. Gran parte del acervo de conocimientos que constituye la ciencia ha sido lograda mediante ello.

En etapas iniciales de análisis del proyecto, se empleó la observación no científica, nos acercamos a la maquina a observar sin preparación previa, sin intención, sin objetivo definido debido a que eran las primeras aproximaciones de campo y aun no se sabía los objetivos, alcances y límites.

En etapas posteriores de la investigación, empleamos la observación científica con la intención de definir y precisar detalles, al saber ya qué es lo que necesitábamos observar y para qué queremos hacerlo, lo cual implicó preparar con más cuidado la observación de la cortadora.

Se empleó también la observación directa cuando nos pusimos en contacto personalmente en el área, al revisar e interactuar con la máquina cortadora.

La observación indirecta se realizó al utilizar informes, reportes, bitácoras, grabaciones, fotografías, documentos etc., relacionadas a la cortadora, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron antes lo mismo que nosotros, principalmente por medios electrónicos.

Observación estructurada se dio con la ayuda de elementos técnicos tales como: fichas, cuadros y tablas.

La observación de campo se realizó en el sitio y ubicación física de la máquina que es el lugar donde ocurren los hechos o fenómenos investigados.

Una observación Individual es la que me toco realizar porque la investigación es igualmente individual, y se realizó esa parte en solitario.

CAPITULO 4. DESARROLLO Y RESULTADOS

4.1 Cambio del actuador de freno

En este trabajo, apoya el departamento Mecánico en realizar los trabajos de desmontar de la estación desbobinadora todos los elementos del sistema de frenos que ya no serán útiles incluida la guarda de seguridad (figura 4.1), ya que los accionamientos se encuentran por dentro del conjunto moderno y ya no son condición de riesgo para el operador. Aprovechando la modificación, se solicita revisar y reparar chumaceras, graseras, baleros, flechas, sellos, volantes y sistema elevador de brazos, quedando todo listo para la instalación del conjunto actuador de freno neumático nuevo modelo (figura 4.2). Recordemos que cada estación lleva dos actuadores, uno para cada brazo soporte por lo que el número total de actuadores fueron 8. En la figura 4.3 se puede ver como quedo la instalación de todas las estaciones completadas de sus actuadores.



Figura 4.1 Frenos de pinzas obsoletos.

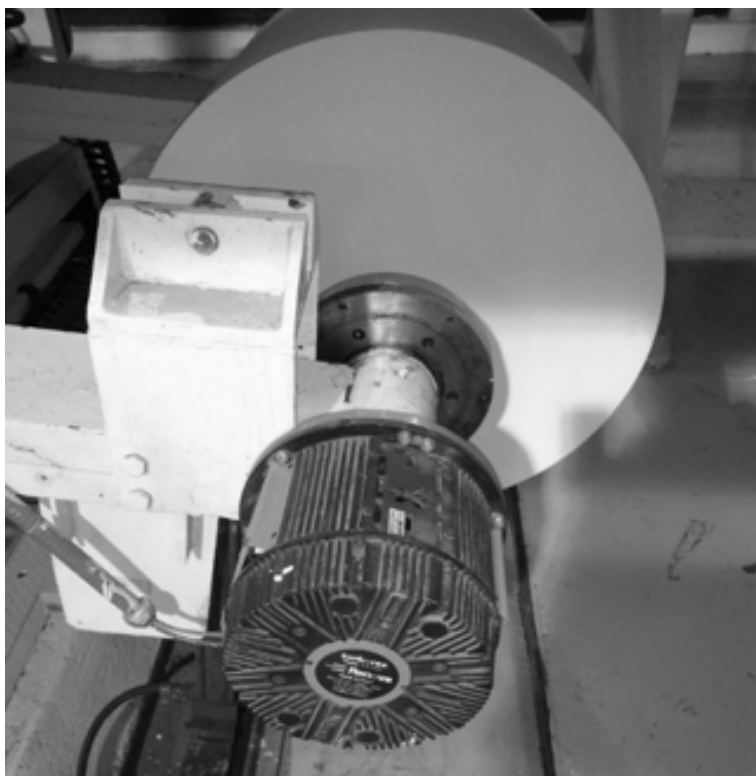


Figura 4.2 Conjunto de nuevos frenos instalados.



Figura 4.3 Sección desbobinado.

4.2 Estaciones de operación en zona de desbobinado

Los controles locales de cada estación para otras funciones como subir, bajar, circuito de paro de emergencia, activar/desactivar frenos, quedaron iguales, no requirieron intervención debido a que la maquina es muy manual y todas esas funciones son accionamientos eléctricos directos, no pasan por el controlador.

Todos los mandos son de accionamiento directo a su contactor de control. Se fabricaron de nuevo las identificaciones y se dio revisión y limpieza en general. También se reapretaron todas sus conexiones, se verifico que todos los selectores y lámparas piloto funcionaran correctamente.



Figura 4.4 Estación de mandos local desbobinador.

4.3 Instalación del sensor de giro

Como fue comentado anteriormente, el sensor es empleado para detectar revoluciones del desbobinador y poder calcular el diámetro, se procedió a hacer barreno en la estructura del soporte de flecha de giro para su fijación, y luego se pide apoyo al departamento de pailería y soldadura para cortar y soldar las placas metálicas que van agregadas al disco para que el sensor detecte el giro. Quedando de la manera como lo muestra la figura 4.5 y detalla la figura 4.6.

Sensores inductivos de este tipo fueron instalados 4, uno por cada estación de desbobinado, se calibro la distancia de censado, se realizaron las conexiones de acuerdo con el diagrama eléctrico y se corroboró que la señal llegara al PLC.

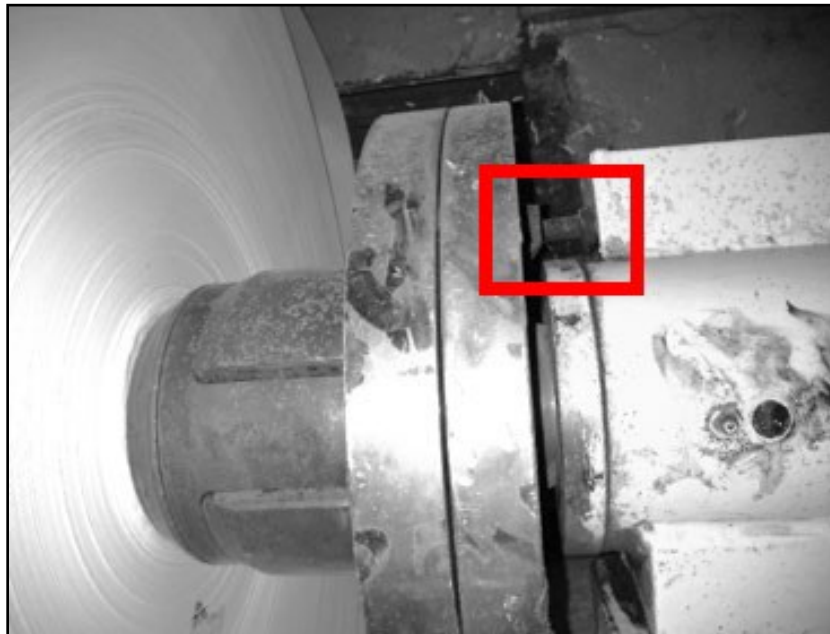


Figura 4.5 Instalacion del sensor de giro y placa.



Figura 4.6 Detalle sensor de giro y placa.

4.4 Instalación de Servo válvula

La conexión de la válvula servo es la maniobra más importante a realizar dentro de la caja de conexiones de cada desbobinador, esto debido a que esa servo es la pieza que se encarga de transformar la señal eléctrica que el programa se encuentra calculando constantemente los datos obtenidos por la calculadora de diámetros y su salida es conducida hasta aquí para ser transformada a la salida de presión correspondiente. En la figura 4.7 se muestra la acción de la conexión. Lleva por un lado conexiones eléctricas y por el otro lado conexiones neumáticas se debe tener cuidado de que quede bien sujeta porque es sensible a vibraciones que pueden afectar sus piezas internas, es un aparato de precisión.



Figura 4.7 Instalación de Servo válvula.

4.5 Conexiones eléctricas y neumáticas

Para la realización de esta tarea se requirió el uso de cableados eléctricos para las señales analógicas (servo válvula) y digitales (sensor de giro desbobinador). Se realizaron las conexiones de acuerdo con el diagrama eléctrico diseñado. Se empleó cable calibre awg calibres 12 y 14, líneas neumáticas de 8 y de 6mm, racores rápidos, se agregó una unidad filtro de línea para la alimentación de aire de suministro a la servo válvula, para ayudarle a manejar la humedad condensada en las líneas porque en las pruebas se detectó este detalle.

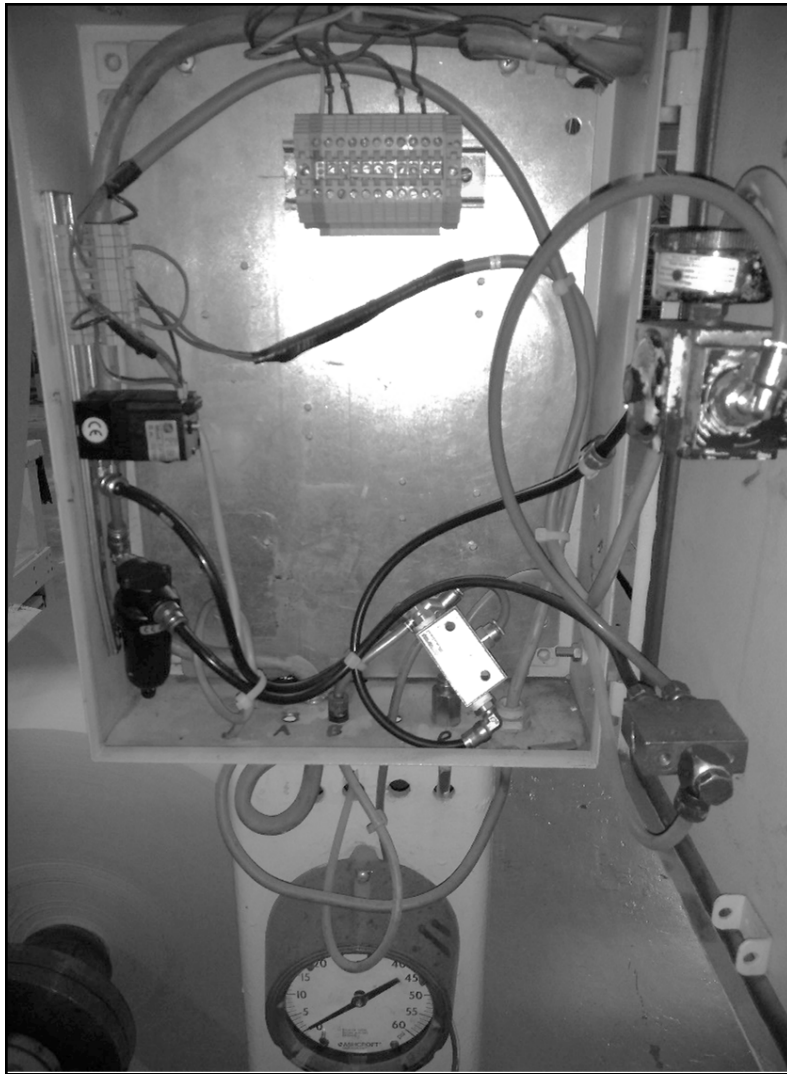


Figura 4.8 Caja de conexiones.

4.6 Mejoras en caja de conexiones

Una vez completadas las conexiones internas de la caja de conexiones, el siguiente paso fue limpiarla externamente, instalar manómetros para poder ver la presión variante que es ejercida sobre el actuador de freno y realizar etiquetas que ayuden a operadores nuevos. Tiempo después se instaló el potenciómetro que

solicitó producción para realizar ajustes locales de la señal de control, como lo muestran las imágenes de antes (figura 4.9) y después (figura 4.10).



Figura 4.9 Vista operador. Antes.



Figura 4.10 Vista operador. Después.

4.7 Sensor de la prensa de corte

Se fabricó una base soporte de aluminio para fijar en su posición al sensor inductivo, como se aprecia en la figura 4.11, quien detecta las revoluciones de corte de la prensa, existía una ranura para un tornillo de balance el cual se aplicó otro tornillo más largo y nos sirvió para ser la marca de detección sin tener que realizar modificaciones o aplicar soldaduras o pesos agregado a la prensa y que no se presente desbalanceo. Este sensor es utilizado por el PLC para que la calculadora de diámetros pueda realizar su algoritmo.

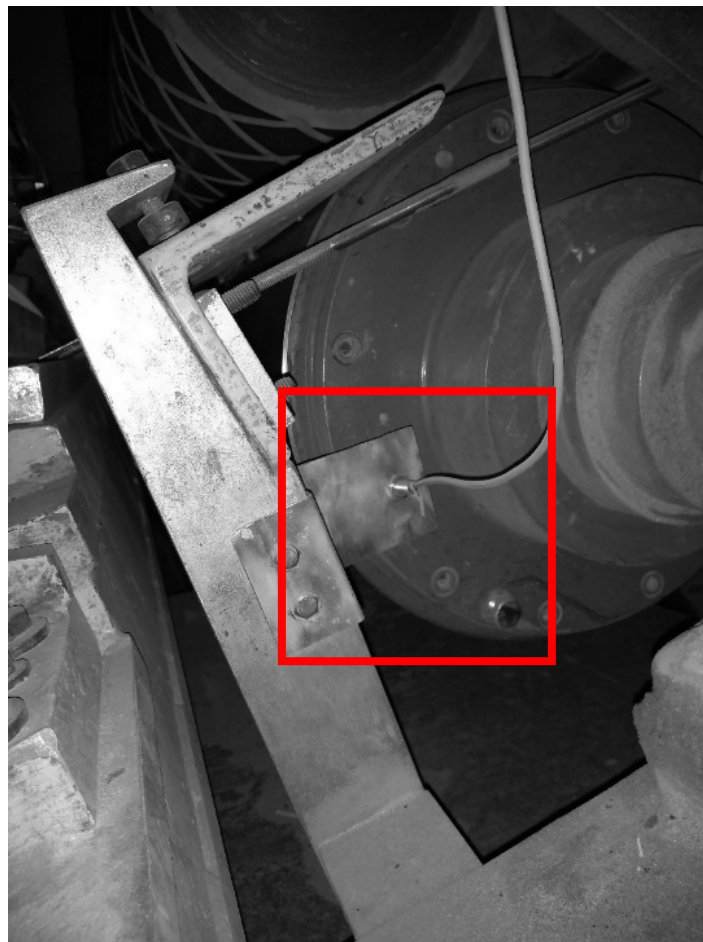


Figura 4.11 Sensor y tornillo actuador rpm's prensa.

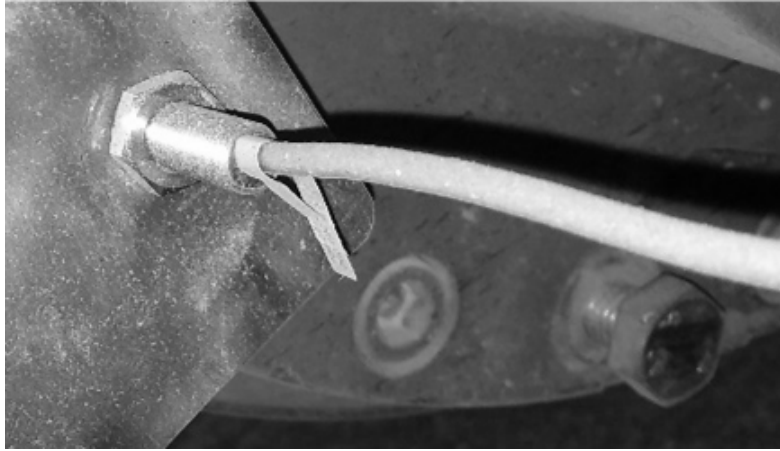


Figura 4.12 Detalle de sensor y tornillo actuador.

4.8 Programación de PLC y pruebas

La programación y pruebas en banco de trabajo de algoritmos y salidas de 0-10 Vdc fueron en primera instancia instrumentados en un PLC Siemens 400, como lo muestra la figura 4.13, porque era uno que estaba en reserva por ser repuesto de otra máquina más grande, y ya se requería comenzar a realizar la lógica de operación de la calculadora de diámetros, en él se simulaban las presiones de frenado hacia la servo válvula neumática, se conectan galvanómetros realizando la función de multímetros analógicos para observar y monitorear el voltaje de salida y que la respuesta sea la deseada.



Figura 4.13 Pruebas de algoritmos y salidas.

Después se tuvo que programar en un PLC Siemens S7-300 una vez que se consiguió, siendo mejor opción por cuestiones de costo del proyecto y se solicitó así porque se adaptaba mejor en el gabinete eléctrico de la máquina, se tenía poco espacio.

4.9 Estructura del programa en el PLC

El tipo de medición del proceso seleccionado es la calculadora de diámetros descrita en la página 53 del capítulo 2, en fundamentos y tipos de medición y control, su principal ventaja es la economía en las partes pero su principal desventaja es la complejidad de la programación, la cual describiremos en los bloques que siguen.

El ahorro fuerte en la implementación de este método es que una característica del Ingeniero Instrumentista es su conocimiento y habilidades de analista y programador de sistemas, además de que está especializado en programación de PLC's Siemens y se tiene la capacidad y las herramientas para realizar esta actividad sin tener que contratar servicios externos, que encarecerían el proyecto.

Del análisis de la filosofía de operación, de la técnica de la calculadora de diámetros, de los materiales que se consiguieron y de las necesidades de operación se creó el programa del PLC, en el lenguaje Step7 de Siemens para el PLC S7-300. La figura 4.14 muestra la pantalla de proyecto, estructura de programa y bloques de función, la figura 4.15 detalla el bloque de memoria o también llamado base de datos DB1 quien almacena varios parámetros como valores de entrada de cada desbobinador que utilizan funciones de desescalamiento entre otras.

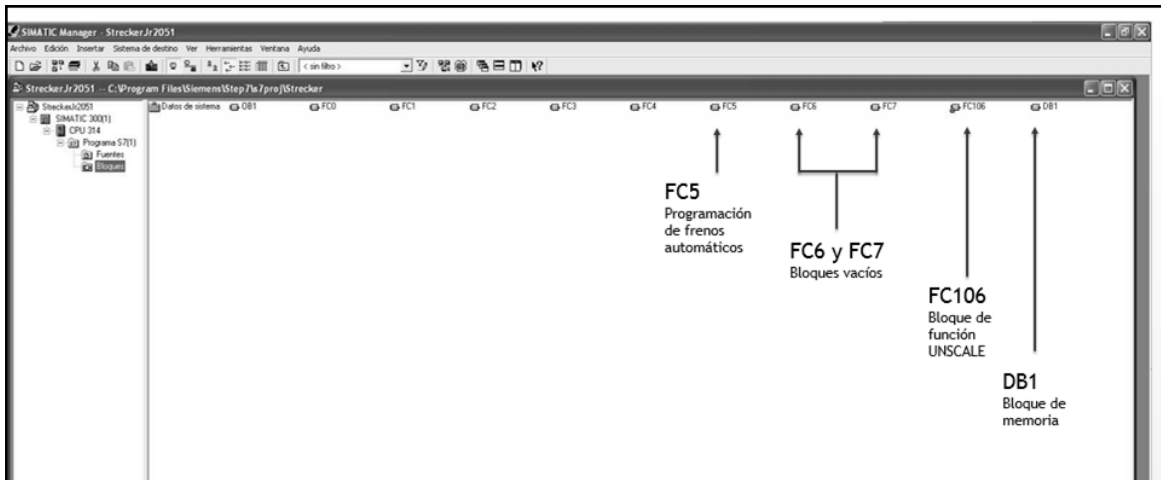


Figura 4.14 Estructura general del programa.

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario	
0.0	DB_VAR	STRUCT			
+0.0	DB_VAR	INT	0	Variable provisional	
+2.0	Ctte_Peri	REAL	1.220000e+000	Constante de perímetro Prensa en mts	
+6.0	Ctte_pi	REAL	3.141600e-002	Constante pi en mts	
+10.0	Hi_Lim	REAL	6.000000e+002	Límite máximo para desescalamiento	Rangos para función UNSCALE
+14.0	Lo_Lim	REAL	0.000000e+000	Límite mínimo para desescalamiento	
+18.0	Error_1er	WORD	W#16#0	Variable de error 1er	Se requiere al usar función UNSCALE
+20.0	Error_2do	WORD	W#16#0	Variable de error 2do	
+22.0	Error_3er	WORD	W#16#0	Variable de error 3er	
+24.0	Error_4to	WORD	W#16#0	Variable de error 4to	
+26.0	In_1er	REAL	0.000000e+000	Entrada 1er	Valor de entrada a función UNSCALE
+30.0	In_2do	REAL	0.000000e+000	Entrada 2do	
+34.0	In_3er	REAL	0.000000e+000	Entrada 3er	
+38.0	In_4to	REAL	0.000000e+000	Entrada 4to	
+42.0	Out_1er	INT	0	Salida 1er	Valor de salida de función UNSCALE
+44.0	Out_2do	INT	0	Salida 2do	
+46.0	Out_3er	INT	0	Salida 3er	
+48.0	Out_4to	INT	0	Salida 4to	
+50.0	Tiempo	SSTIME	SST#30S	Tiempo de muestreo	Tiempo para actualización de diámetro de bobinas
+52.0	Ctte_tiempo	INT	2	Constante para acompletar minuto	
+54.0	Permiso_vel	SSTIME	SST#1S100MS	Tiempo para velocidad mínima	Multiplicado por el tiempo anterior debe dar un minuto
+56.0	Unipolar	BOOL	FALSE	Valor siempre cero	
+58.0	Diametro_Max	INT	7000	Valor para reinicio de diámetro	
+60.0		END_STRUCT			

Valor al que se activan los frenos al presionar los botones de reinicio en la consola

Temporizador para manejar velocidad mínima de activación de frenos automáticos

Figura 4.15 Estructura general base de datos 1.

4.10 Lógica digital y algoritmos matemáticos

De aquí en adelante, sigue la explicación breve de los segmentos del programa que procesan las señales de entrada al PLC provenientes de sensores de giro, en ellos se realizan las conversiones necesarias del tipo de dato para poder realizar sobre ellos las fórmulas matemáticas que nos permitirán acondicionar, linealizar y generar señal de control a las salidas analógicas y que serán convertidas en cada desbobinador por la servo válvula.

4.10.1 Contador de revoluciones

Los segmentos iniciales del programa del PLC procesan los pulsos llegan a través de sensores inductivos instalados en la prensa y cada desbobinador. 1 Pulso = 1 Revolución. Al ser detectada la entrada y estar la maquina trabajando, es contada por un bloque sumador quien almacena la cantidad de pulsos en una marca tipo WORD. La figura 4.16 muestra el procesamiento para prensa y la figura 4.17 para el desbobinador 1. Se cambia el tipo de datos de las marcas para que puedan ser utilizadas más adelante por funciones matemáticas.

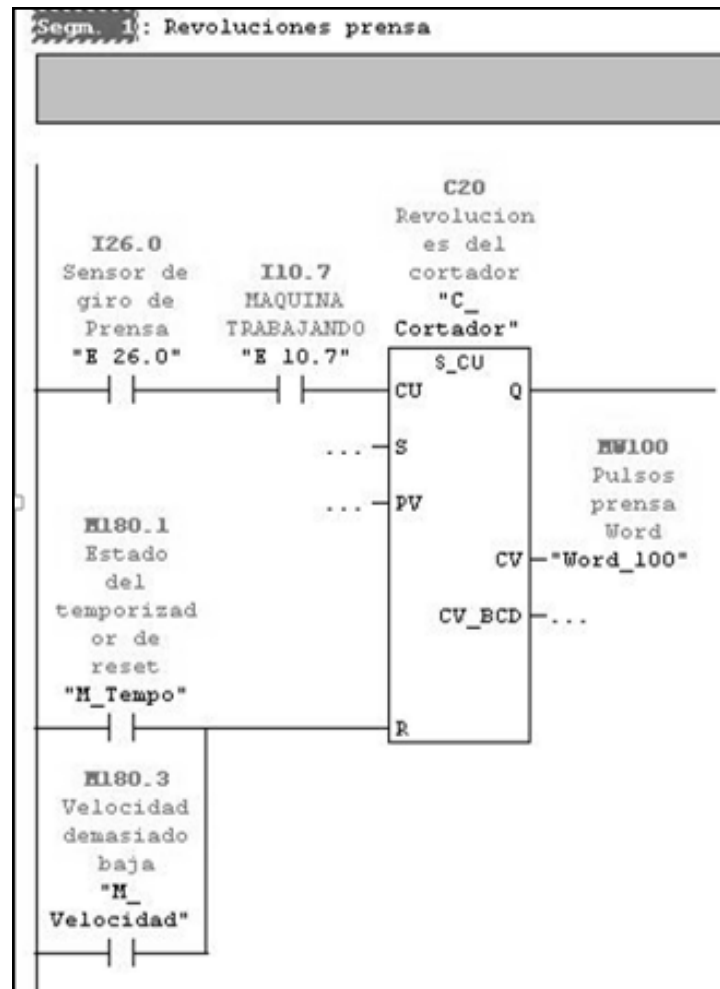


Figura 4.16 Sumador de revoluciones de la prensa.

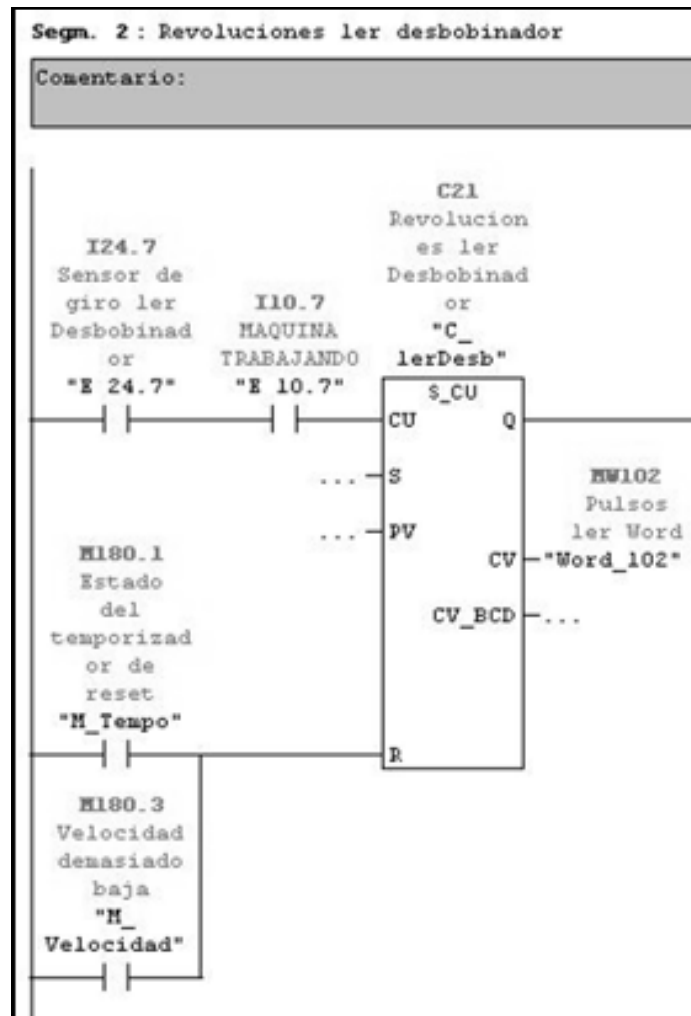


Figura 4.17 Sumador de revoluciones de desbobinador 1.

4.10.2 Cambio de marca Word a Int

Ahora necesitamos convertir el tipo de dato word a int (de tipo palabra a tipo entero) y asignarles una variable de memoria para seguir su procesamiento mas adelante, se requieren mas conversiones de tipo de datos para realizar operaciones matematicas. La figura 4.18 muestra como con la funcion move se realiza la conversion y se guarda en otras marcas para prensa y desbobinador 1.

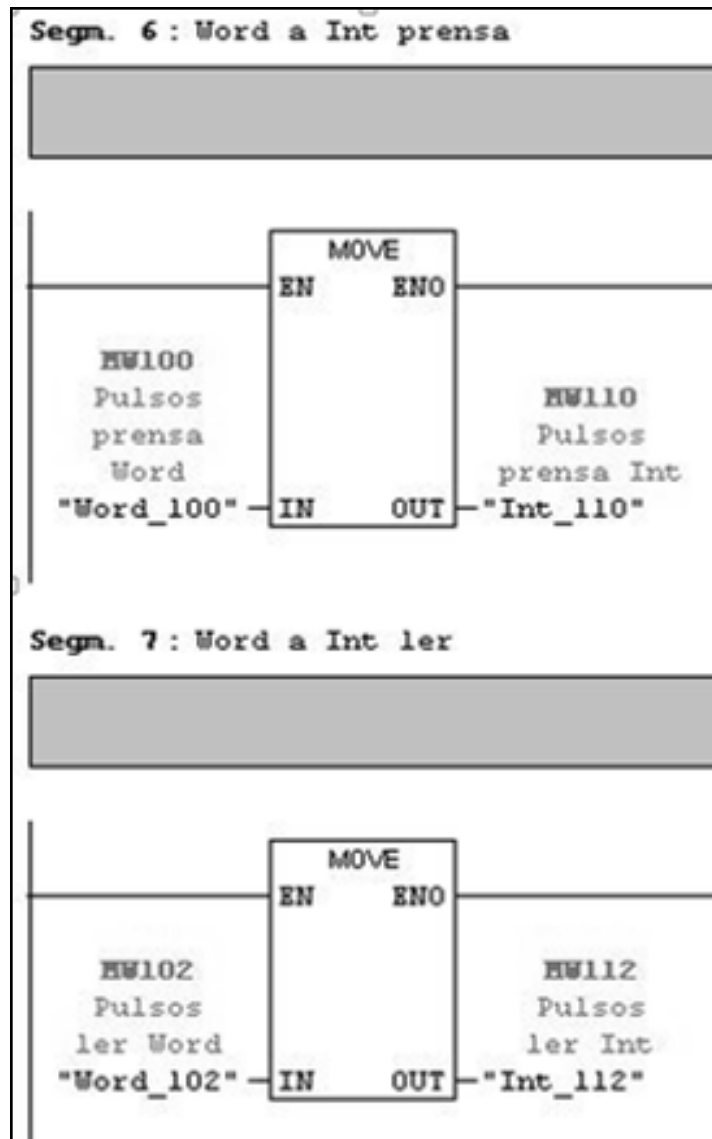


Figura 4.18 Cambio de marca Word a Int.

4.10.3 Cálculo de rpm's en prensa y desbobinadores

La entrada denominada “constante para completar el minuto” se refiere al número que multiplicado por el tiempo de muestreo de pulsos nos dará 60 segundos. Como el tiempo de muestreo lo fijamos en un timer interno del PLC de

30 segundos, entonces la mencionada constante para completar el minuto será 2 porque 30 segundos multiplicado por una constante de magnitud 2 nos permite obtener 60 segundos que se convertirá en nuestra base de tiempo, y multiplicando esa constante por los pulsos de la prensa (figura 4.19) y del desbobinador 1 (figura 4.20) obtenemos el número de vueltas que la sección da por minuto respectivamente o rpm's.

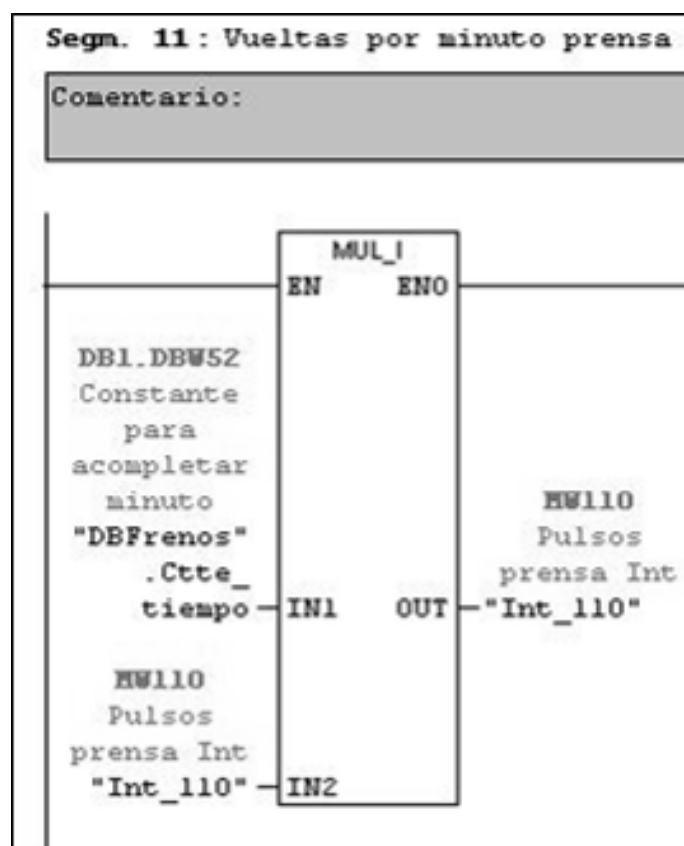


Figura 4.19 Cálculo rpm's en prensa.

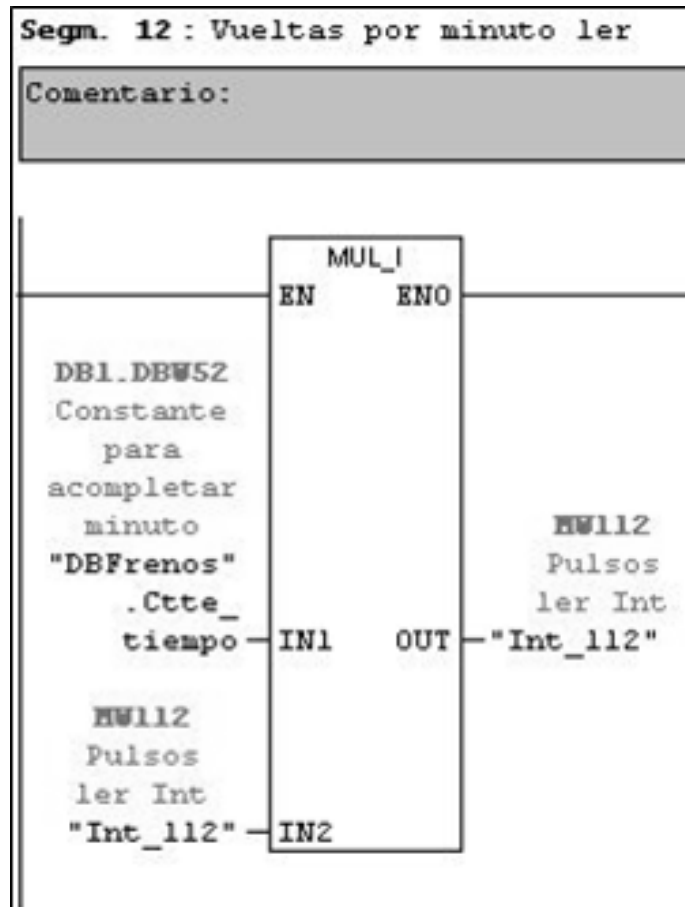
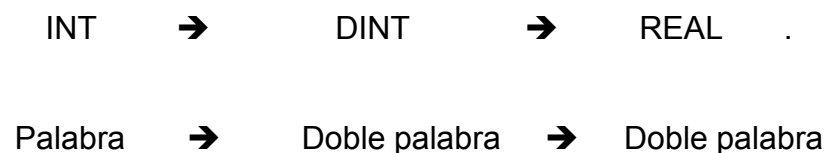


Figura 4.20 Cálculo rpm's en desbobinador 1.

4.10.4 Convertir la marca que contiene las RPM de INT a Real

Para el proceso de conversión de tipo de datos de INT a Real se requiere pasar primeramente a DINT, esto debido a que pasamos de un tamaño de palabra a una doble palabra, aplica a prensa (figuras 4.21) y desbobinadores (figura 4.22).



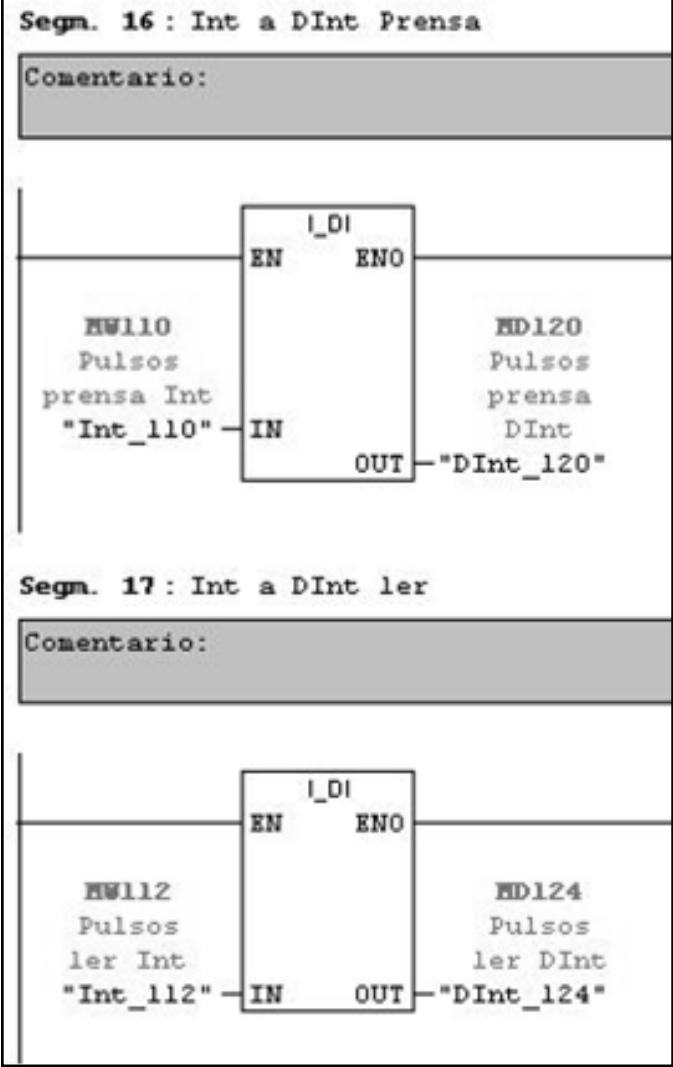


Figura 4.21 Conversión de marcas tipo entero a doble entero.

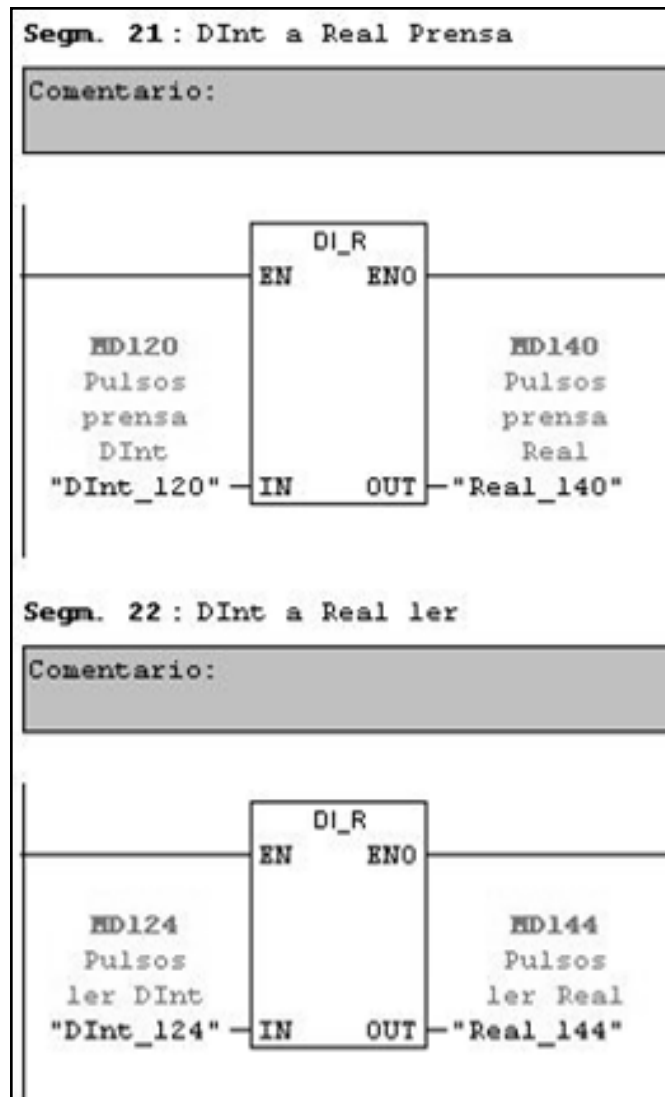


Figura 4.22 Conversión de marcas tipo doble entero a real.

4.10.5 Cálculo de velocidad de la prensa

La velocidad lineal se calcula con el producto del número de pulsos por minuto de la prensa y el perímetro de esta, obteniendo m/min (figura 4.23).

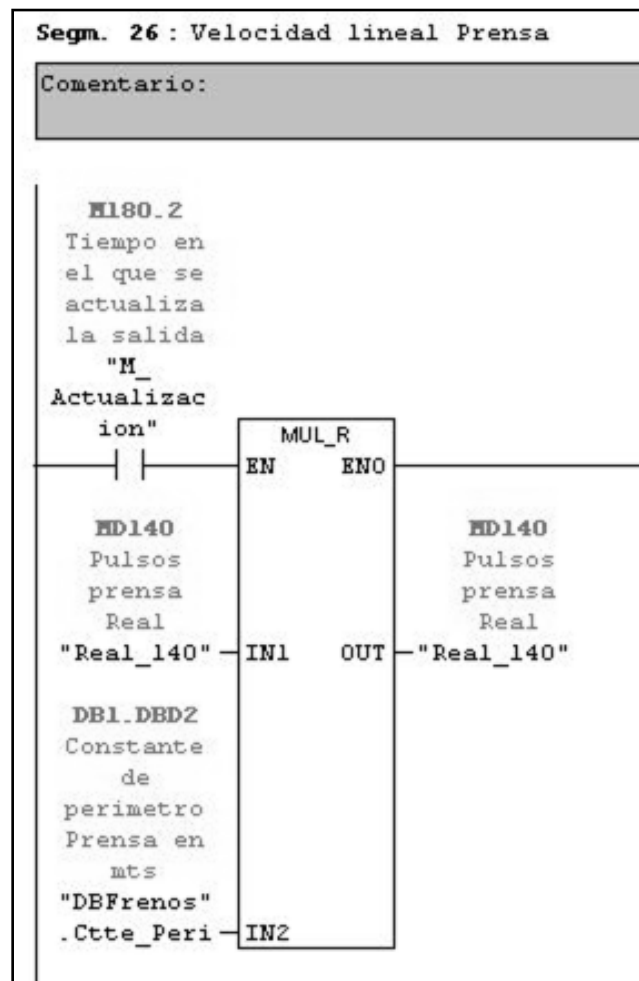


Figura 4.23 Cálculo de velocidad lineal de prensa.

4.10.6 Perímetro de las bobinas

Para el cálculo del valor se divide la velocidad lineal de la maquina entre los pulsos por minuto de cada desbobinador (figura 4.24).

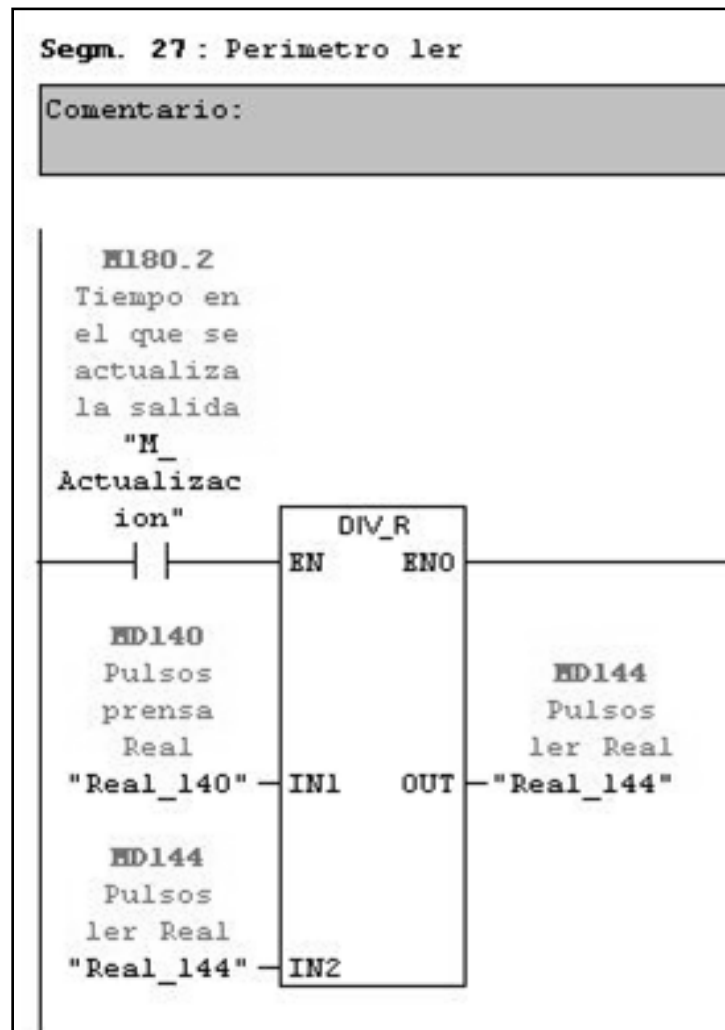


Figura 4.24 Cálculo del perímetro de las bobinas.

4.10.7 Cálculo de diámetro de desbobinadores

Se realiza la división del perímetro obtenido para cada desbobinador entre el valor de pi (dividido entre 100). El valor estará dado en centímetros (figura 4.25). De acuerdo con la fórmula:

$$\text{Diámetro} = \text{perímetro} / 3.1416$$

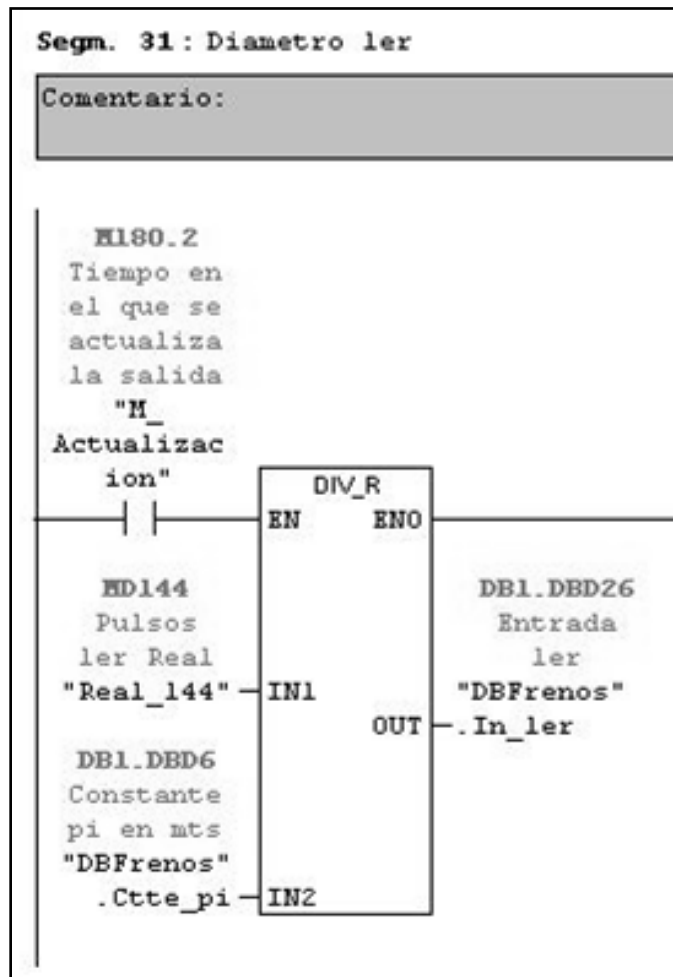


Figura 4.25 Cálculo de diámetro en desbobinadores.

4.10.8 Desescalamiento de la salida analógica

A continuación se muestra el bloque de desescalamiento para linealizar la señal de salida que se usara en los puertos analógicos del PLC (figura 4.26). El bloque se parametriza con señal de iniciar calculo cuando se cumple el tiempo de muestreo, una entrada de diámetro de desbobinadores en metros, rango de trabajo y valor de salida.

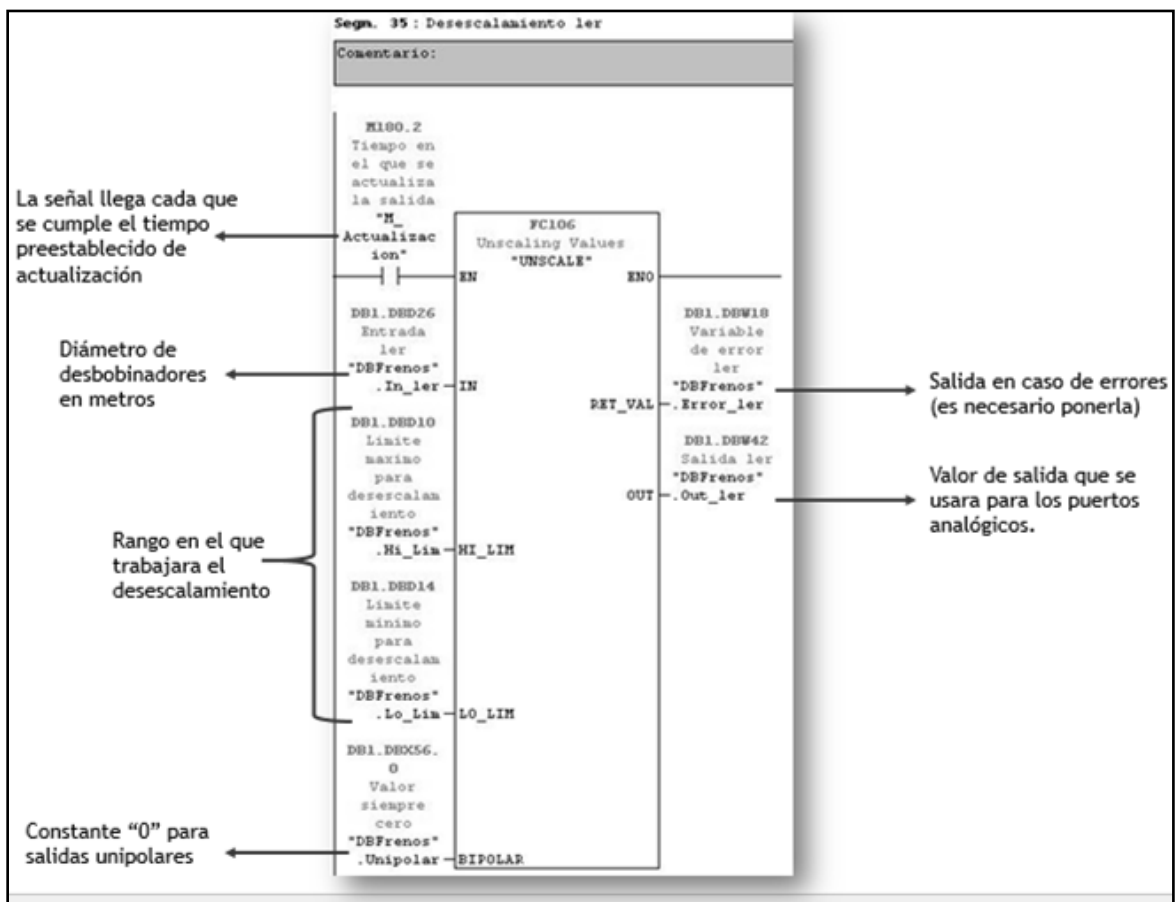


Figura 4.26 Desescalamiento salida analógica.

4.10.9 Filosofía para desescalamiento

Los desbobinadores requieren una presión de frenado muy inferior a la máxima accesible (6 bars) siendo un aproximado a los 2 bars. La servo válvula usada trabaja de 0–10 V equivalente a 0-6 bar. Por lo que requerimos usar un aproximado a un rango entre los 0-2.5 V para 0-2 bar. El diámetro de las bobinas más grandes usadas en la Strecker 2051 es de 59" donde se usaría una señal de 2.5 V para su correcto frenado, por lo que: el rango a usar será de 0 – 600 cms (figura 4.27).

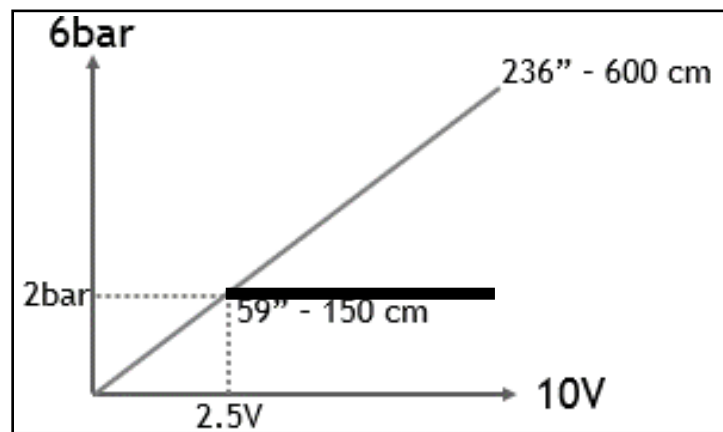


Figura 4.27 Diseño del rango para desescalamiento.

4.10.10 Modificación de rango

Hay que notar que en este caso la recta de presión actúa al inverso debido a que los rollos puestos en la estación entran con su diámetro máximo y por lo tanto con la máxima presión de frenado, al irse acabando la presión tendrá que ir

decaendo hasta su mínimo valor. Con otras palabras, la presión de frenado al inicio con rollos grandes aumenta y cuando el rollo se va des bobinando la presión baja (figura 4.28).

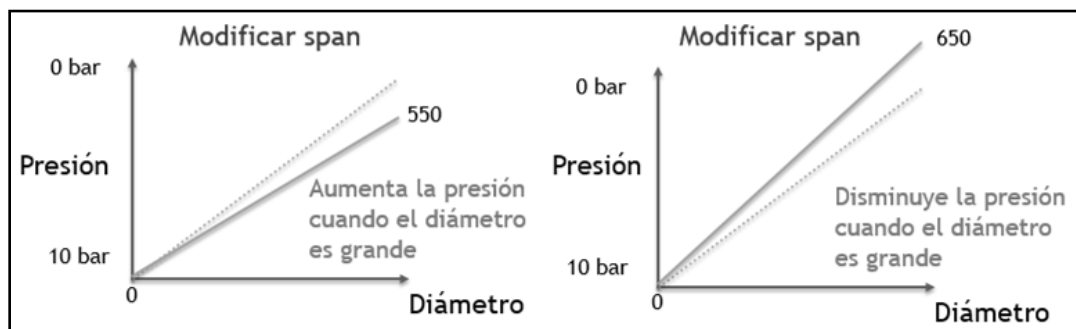


Figura 4.28 Comportamiento de presión / diámetro rollos.

4.10.11 Salida analógica

Este bloque es simple, usado para mover el valor des escalado a la salida analógica (figura 4.29), o también llamada periférica a donde se requiera.

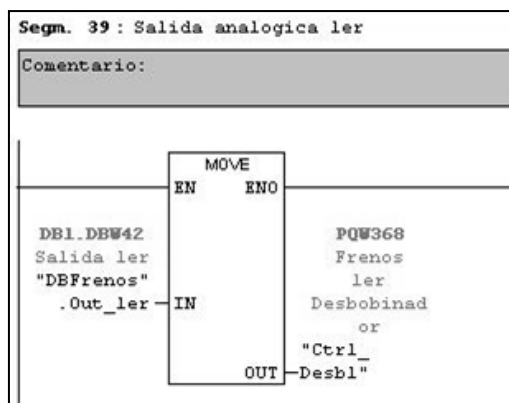


Figura 4.29 Salida analógica a primer desbobinador.

4.10.12 Botonera de reinicio de diámetro

Al momento de la instalación de nuevas bobinas el PLC no se da cuenta de ello por lo que sigue manteniendo el valor para el último diámetro leído. Esto se debe a que no hay micro o sensor o selector que le indique al PLC esa información porque la máquina no lo requería cuando era manual, ahora es necesidad. Se instala una caja con botoneras tipo pulsador (figura 4.30) para forzar un reinicio manual de la cuenta del diámetro para cada desbobinador individualmente porque esta máquina puede recuperar rollos con diámetros y anchos diferentes y de esta manera se le dice al PLC que se instaló un nuevo rollo del diámetro que sea y él calculará el nuevo diámetro y se programan bloques para realizar esto (figura 4.31).



Figura 4.30 Pulsadores de reinicio de diámetro de rollos.

En caso de que las bobinas nuevas no cuenten con el diámetro de 59" se tendrá que manejar inicialmente en manual hasta que el algoritmo calcule

automáticamente el nuevo diámetro, esto tarda aproximadamente 30 segundos a partir de una velocidad superior a los 100 m/min.

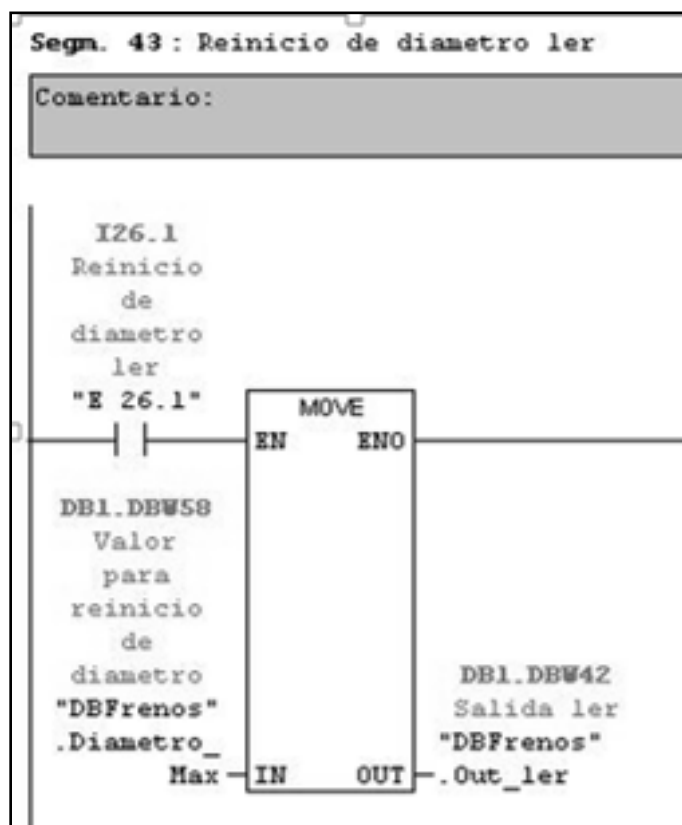


Figura 4.31 Reinicio de diámetro desbobinador 1.

4.10.13 Temporizador para acumulación de pulsos

Este temporizador marca el tiempo por el cual se sumarán los pulsos de cada revolución tanto en prensa como desbobinadores figura (4.32).

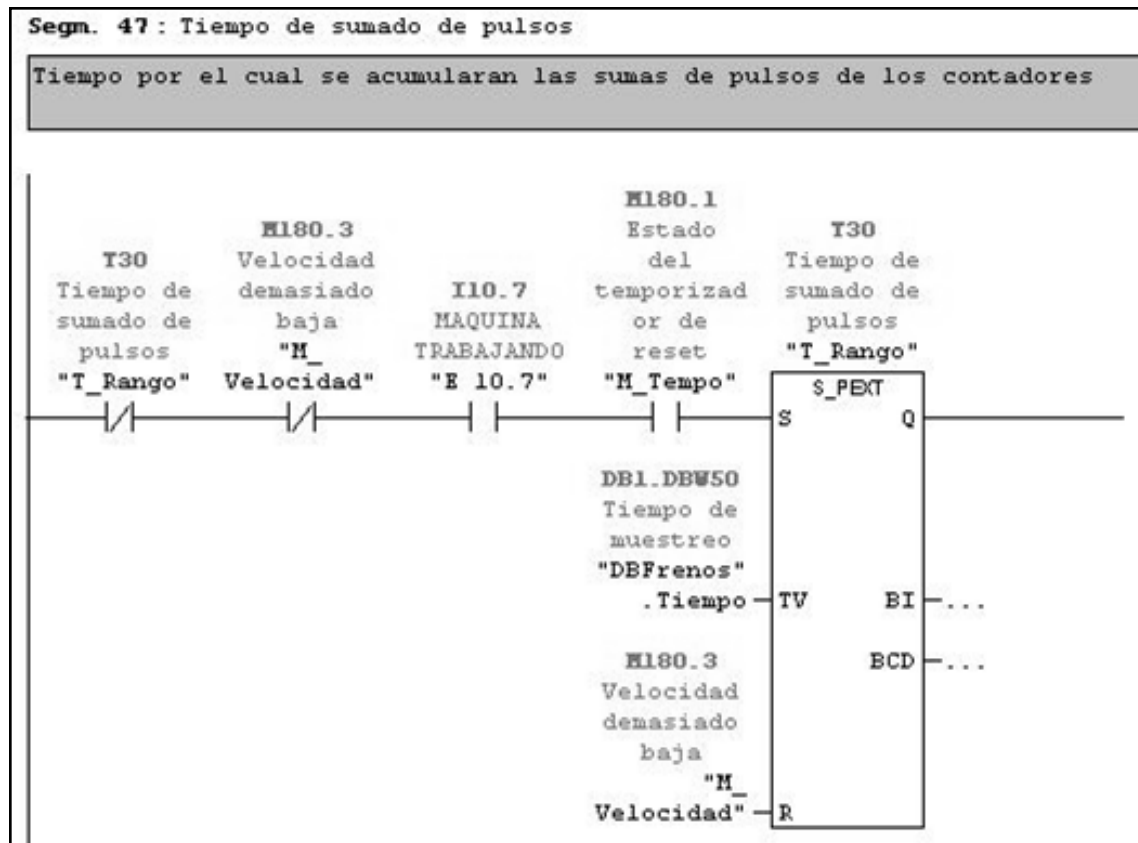


Figura 4.32 Temporizador para acumular pulsos.

4.10.14 Temporizador para proceso de bloques

Es necesario un pequeño intervalo de tiempo entre cada muestreo de pulsos, esto para que retarde la velocidad de proceso y dé oportunidad de que los bloques de funciones logren hacer su proceso antes de obtener nuevos valores (figura 4.33).

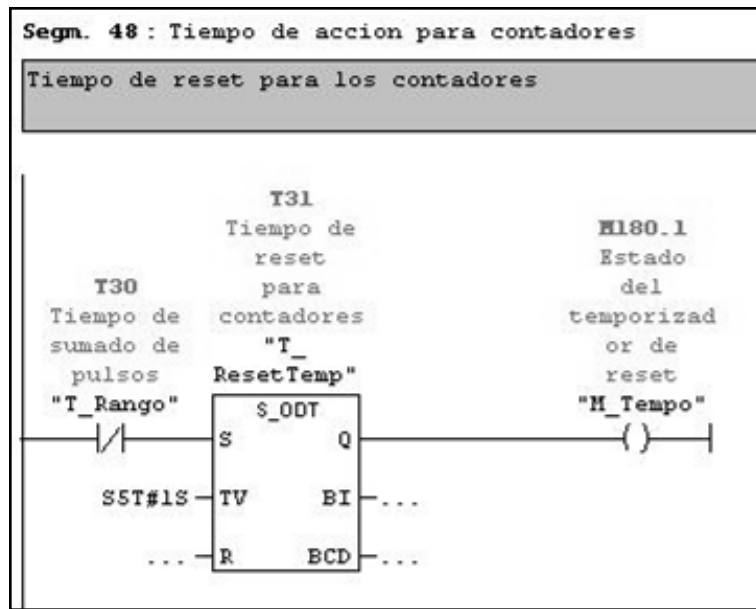


Figura 4.33 Temporizador para separar tiempos de muestreo.

4.10.15 Temporizador para actualización

Mientras que se cumple el tiempo asignado para el proceso de datos, este bloque habilita la actualización de algunos bloques de función y de las salidas analógicas (Figura 4.34).

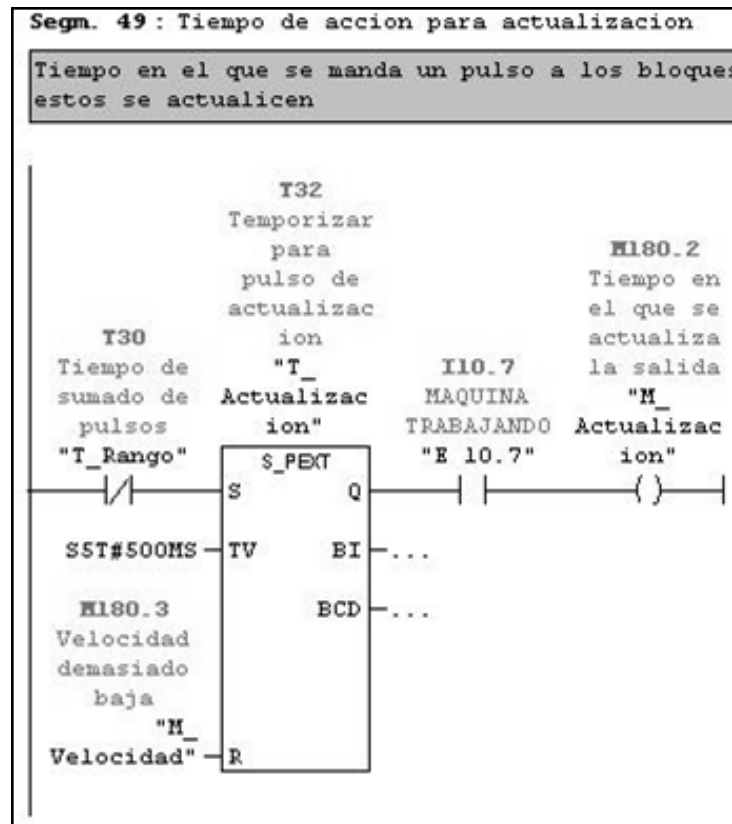


Figura 4.34 Temporizador para habilitar una actualización.

4.10.16 Temporizador de velocidad mínima

Este temporizador cambia de estado cuando la maquina supera una velocidad especifica asignada proporcionalmente por el tiempo del mismo bloque. Los pulsos que llegan por parte de la prensa lo mantienen reiniciando su contador interno, si los pulsos no llegan con frecuencias mayores al tiempo establecido este cambia de estado negando los permisos para varios bloques del programa (figura 4.35).

Segm. 50 : Temporizador para permiso de velocidad

Los frenos automaticos no funcionaran si la maquina no se encuentra trabajando a una velocidad mas alta que la minima permitida

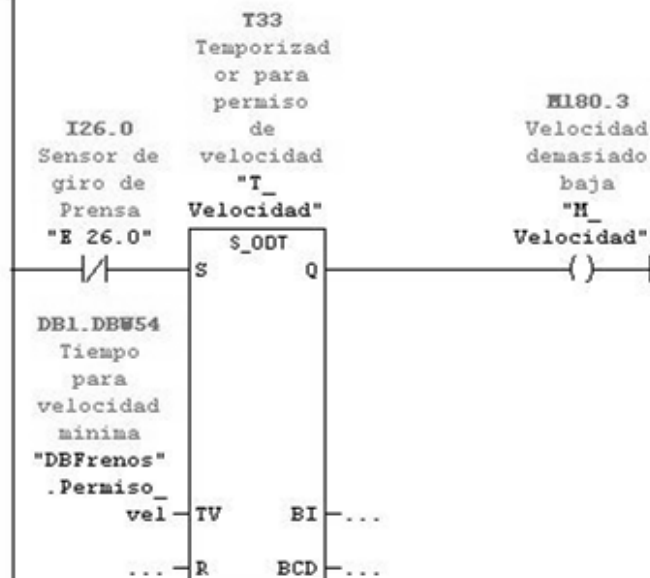


Figura 4.35 Temporizador de velocidad mínima.

4.11 Resultados

Luego de implementar la actualización de el sistema de frenos, sintonizar los sistemas, detallar ajustes mayores y luego los finos, se entrega la máquina a producción para comenzar a trabajar y medir los indicadores que estamos monitoreando. El desempeño se observa muy favorable y la maquina arranca, trabaja y se detiene sin trozar el papel, debido a el control de tensión mejorado.

En funcionamiento normal se han alcanzado ya algunas veces la velocidad maxima de diseño cuando se dan las condiciones de que la cuchilla de corte se encuentre bien ajustada y en desbobinado se pongan rollos que no esten desbalanceados y que no traigan defectos de calidad originados en las rebobinadoras, los operadores comentan que trabaja mucho mejor, cuando toca realizar algun empalme se hace con mayor facilidad.

Se logra poner en funcionamiento las 4 estaciones desbobinadoras trabajando en automático, en los reportes de tiempos perdidos por fallas o reparaciones cargadas a mantenimiento han bajado notablemente.

Análisis cuantitativo de indicador tiempo muerto

De revisar la información de las bitácoras diarias de tiempos cargados a mantenimiento por especialidad, asignados por los operadores, se obtuvo la siguiente información cuantitativa y se muestra resumida en las tablas 4.1 y 4.2, se tuvo la limitante que en algunos reportes la información no estaba disponible o completa, por lo que se realiza la comparación de años 2016 y 2019. La información es en horas máquina de tiempo perdidas.

Tabla 4.1 Tiempos muertos mantenimiento 2016.

STRECKER 2051													
DEPARTAMENTO	ACUM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MECÁNICO	97.50	4.50	3.67	8.88	7.58	8.42	14.25	14.92	7.37	5.83	8.88	7.37	5.83
INSTRUMENTOS	56.88	4.32	5.35	4.25	4.25	3.83	5.4	6.35	5.45	4.25	5.35	3.83	4.25
ELÉCTRICO	38.65	3.75	3.58	0.83	3.27	2.92	0	0	10.92	4.25	3.27	2.92	2.94
PROGRAMA	48.00	0.00	10.50	0.00	7.50	0	0	12	0.00	0.00	7.50	0.00	10.50
CORRECTIVO	193.03	12.57	12.60	13.96	15.10	15.17	19.65	21.27	23.74	14.33	17.50	14.12	13.02
PREVENTIVO	48.00	0.00	10.50	0.00	7.50	0.00	0.00	12.00	0.00	0.00	7.50	0.00	10.50
TOTAL	241.03	12.57	23.10	13.96	22.60	15.17	19.65	33.27	23.74	14.33	25.00	14.12	23.52

Tabla 4.2 Tiempos muertos mantenimiento 2019.

STRECKER 2051													
DEPARTAMENTO	ACUM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MECÁNICO	66.92	9.25	4.42	10.25	10.25	20.03	0.50	3.42	8.80	0.00	0.00	0.00	0.00
INSTRUMENTOS	15.96	2.83	1.92	1.67	1.67	2.13	2.42	1.65	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00
ELÉCTRICO	51.83	1.17	2.92	2.00	2.00	36.08	1.67	2.75	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00
PROGRAMA	19.33	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	9.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CORRECTIVO	134.71	13.25	9.25	13.92	13.92	58.25	4.59	7.82	13.73	0.00	0.00	0.00	0.00
PREVENTIVO	19.33	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	9.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	154.05	13.25	9.25	13.92	13.92	68.25	13.92	7.82	13.73	0.00	0.00	0.00	0.00

Con esa información se creó la gráfica del comportamiento de horas perdidas (figura 4.36), en la que podemos observar que se redujo bastante en algunos meses, cabe mencionar que esta cortadora estuvo fuertemente afectada en el 2019 por rollos de baja productividad, pero en el último cuatrimestre, debido a baja de pedidos y otros detalles departamentales, vino concluyendo en un paro técnico por falta de material, pero se logra apreciar que el indicador de tiempo muerto va a la baja.

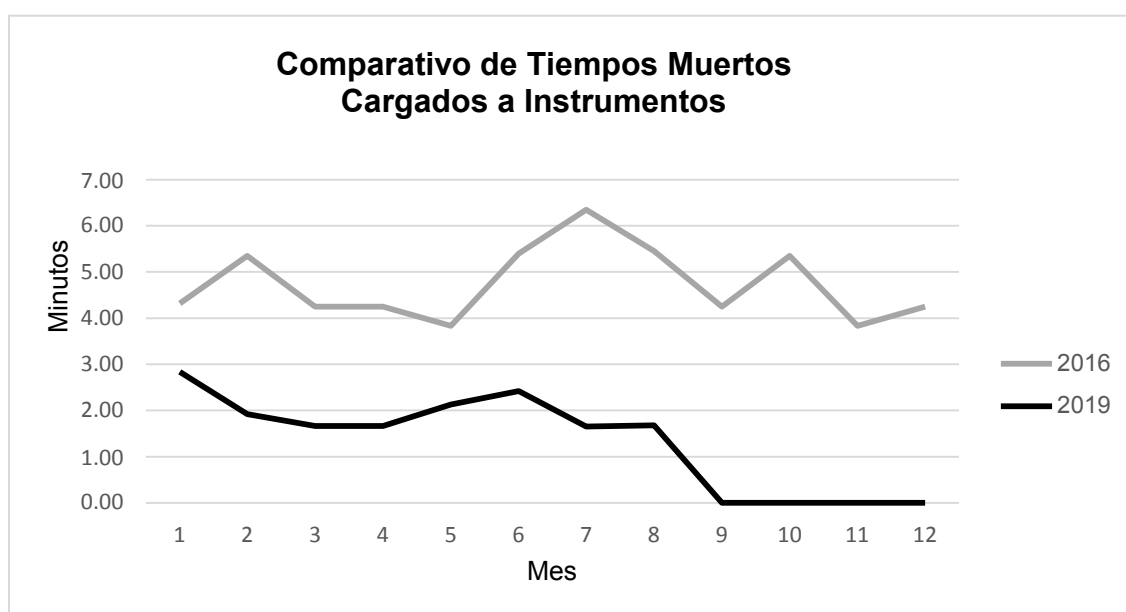


Figura 4.36 Comparación de tiempos para instrumentos.

También se obtuvo información cuantitativa de tiempos muertos clasificado por sección de máquina, en los cuales los operadores asignaban tiempos por hora a cada zona cuando se tenía algún paro, aquí se encontró que debido a inexperiencia, falta de conocimientos u otras circunstancias se asignaban los tiempos a veces erróneamente, se procesó la información de años 2016 y 2019 y se obtuvieron las tablas 4.3 y 4.4 respectivamente, se analizaron y cuantificaron los datos para la sección donde se implementó la actualización siendo los 4 desbobinadores y se creó un gráfico comparativo de tiempos muertos en la sección de desbobinado, para poder revisar y se encuentra que sí se logra el objetivo de reducir tiempos por problemas en esa zona, (figura 4.37).

Análisis de información de tiempos por zona de máquina cortadora

Tabla 4.3 Tiempos muertos por zonas 2016.

STRECKER 2051													
	ACUM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DESBOBINADORES	55.79	6.00	1.92	6.88	6.42	5.58	0.42	1.83	9.33	0.58	1.92	5.58	9.33
SUCCION DE TIRA	14.84	0.00	0.83	0.00	1.00	0.00	0.67	1.42	2.00	2.75	1.42	2.00	2.75
CORTE LONGITUDINAL	9.99	0.33	0.50	1.33	0.33	0.92	0.00	4.00	0.00	0.00	1.33	0.33	0.92
PRENSA ALIMENTADORA	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CORTE TRANSVERSAL	9.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.33	1.25	0.67	1.25	0.67	0.67

Tabla 4.4 Tiempos muertos por zonas 2019.

STRECKER 2051													
	ACUM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DESBOBINADORES	15.37	3.08	1.75	0.33	0.33	4.12	0.42	0.57	4.77	0.00	0.00	0.00	0.00
SUCCION DE TIRA	2.42	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00
CORTE LONGITUDINAL	2.50	0.00	0.00	0.83	0.83	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PRENSA ALIMENTADORA	6.83	2.50	1.50	0.00	0.00	1.33	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CORTE TRANSVERSAL	11.67	0.33	0.42	4.33	4.33	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

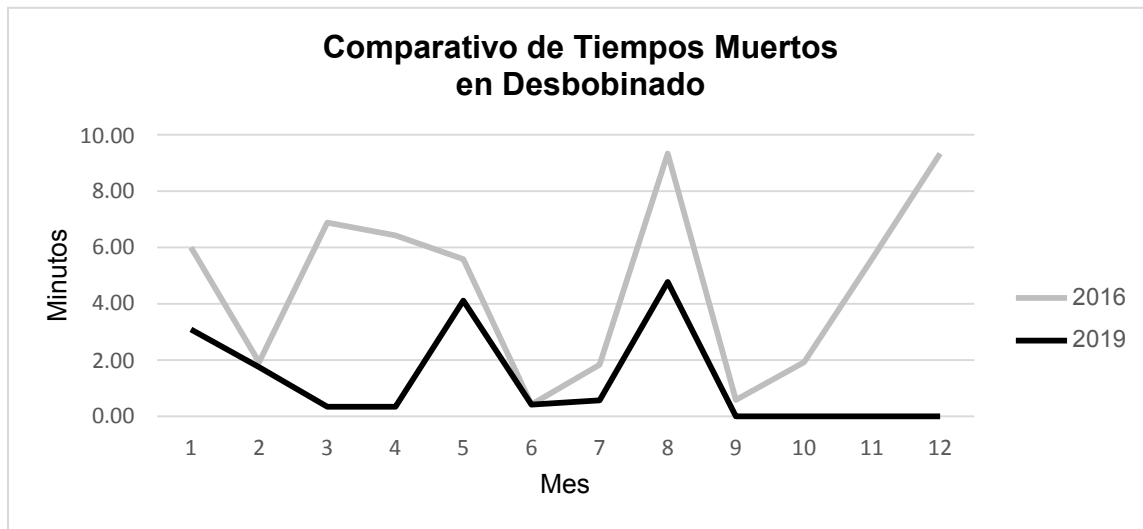


Figura 4.37 Comparación de tiempos zona desbobinado.

Análisis cualitativo de la información

Por causa de que en sus métodos de obtener la información, la investigación cualitativa emplea relatos, comentarios, explicaciones o cuestionarios, se procedió a revisar las bitácoras donde los operadores escriben (tabla 4.5) y anotan con sus propias palabras lo que le sucede en la máquina durante las horas de trabajo que el turno dura tabla (4.6), a nivel de percepción de cada persona particular, allí se encuentra la descripción libre de eventos y asignan tiempos según les parece que es el problema, los cuales fueron sujetos a revisión de forma continua a lo largo de este trabajo. De tal forma que al estudiar dichos reportes y bitácoras se logra juntar una caracterización de la máquina y sus particularidades, de donde pueden salir otras hipótesis.

Tabla 4.5 Toma de tiempos muertos por operador.

MINUTOS	HRS	ÁREA	CONCEPTO
20	0.33	MEC	Se tapa conducto de tira
25	0.42	MEC	Se suelta barra desc. N° 3
40	0.67	INS	Falla de sensor y apilado (baja la tarima)
22	0.37	MEC	Se descuadra tope de hoja
65	1.08	MEC	Succión de tira tapada
20	0.33	MEC	Succión de tira tapada
150	2.50	MEC	Empaquetadora: Se revienta cadena y contra peso de paletizador A
20	0.33	MEC	Se encuentran dañados tornillos para ajustar contras de cuchillas circulares
40	0.67	MEC	Falla de tensión en bandas de apilado provocaba atorones
180	3.00	INS	Frenos en automático no funciona
35	0.58	INS	Se cambia sensor de diámetros
20	0.33	ELE	Falla de sirve de cortadora
20	0.33	INS	Falla de sirve de cortadora
21	0.35	MEC	Reparan insertador
25	0.42	MEC	Falla brazos de desbobinador N°3, se desconecta manguera de aire de freno
24	0.40	INS	Falla (Se marcaba rollo patinando)
120	2.00	MEC	Corto en cable de apilado
120	2.00	ELE	Corto en cable de apilado
30	0.50	ELE	Se apaga la máquina, falla de energía
30	0.50	INS	Se apaga la máquina, falla de energía
25	0.42	ELE	Se apaga la máquina se repone fusible

Tabla 4.6 Fragmento bitácora de eventos.

MÁQUINA	PRODUCCION REAL	% DISP	%DESEMP	% CALIDAD	% ETE
STRECKER 2051	20.99	78%	62%	99%	48%
STRECKER 2051					
SE CORTO UNIBOND PREMIUM 61X90 CM 75 GRS					
*Ajustes por cambio de formato.					
*En varias ocasiones se bajan brazos de desbobinado de la estación #1 por fuga fuerte de aceite en pistón lado transmisión.					
*Placas con daño del riel para patineta de estaciones 1 y 2. Dañada con el montacargas de Clamp. Apoya mecanico.					
* Falla y atorones en prensa					
* Presencia de canales, se baja rollo y se envía a merma (sobrante)					

4.12 Visita del comité tutorial

En el mes de septiembre de 2019 se solicitó a el departamento de Conversión y a el departamento de Recursos humanos, con el visto bueno de Seguridad Industrial, que se programara una visita a las instalaciones y más directamente a la Máquina cortadora a la cual se aplicaron todas las mejoras, equipamientos y esfuerzos descritos para generar evidencias y completar documentación. Se muestran las partes principales de la máquina, la nueva forma de operación, nuevas ventajas y la instalación del PLC en el gabinete.



Figura 4.38 Vista de gabinete eléctrico y PLC S7-300.



Figura 4.39 Vista nivel piso de sección de desbobinado de rollos.

Fui acompañado por el Dr. David Sáenz Zamarrón y la Mtra. Nancy Arana quienes forman el comité Tutorial y Revisor de Tesis a quienes les agradezco su tiempo.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logró la implementación del proyecto de sustituir el freno actual por un sistema de control por PLC moderno y preciso, el cual era nuestro objetivo general muy de la mano del cronograma diseñado.

Se modernizó y automatizó el proceso de desbobinado para incrementar su buen funcionamiento y asegurar que no se presenten defectos por mala operación.

Se creó un programa de acuerdo con la filosofía de operación con el que se logró optimizar las variables críticas del proceso de desbobinado y corte del papel para evitar defectos.

Se logró probar que el modernizar el sistema de frenado incrementa el funcionamiento en cada desbobinador porque evita los defectos causados por mala operación y por inconsistencias de los elementos obsoletos del manejo de la tensión en el papel.

Por el lado de mantenimiento se está percibiendo que se alargan los periodos entre servicios, gracias al estudio y selección de los materiales, las refacciones se consiguen en el mercado nacional, se evita contaminación por residuos peligrosos, los diagnósticos son más asertivos, menos piezas grandes que se desgastan.

Con la optimización del sistema de frenado el operador puede atender otras tareas como actividades de TPM, y variables críticas de otras zonas como como el corte o el apilado al eliminar la suciedad provocada por pastillas de freno usadas y polvo al cambiar de tecnología de frenado.

Por el lado de la productividad se registran mejoras en la operación que a final de año impactarán favorablemente en los objetivos propuestos por producción.

Se encontró que los frenos anteriores se sobrecalentaban, lo que reducía la eficiencia, con el diseño bidireccional de ventilación del nuevo sistema se aumenta el flujo de aire a través del sistema de frenos sin tener que maximizar un área de disipación de calor, incluso a velocidades bajas. Este flujo de aire permite que el freno disipe el calor de manera más eficiente que otros. Debido a que estos frenos están fríos, reducen su desgaste, el ruido excesivo (chillido), el polvo, y el desgaste prematuro de las pastillas.

Ahora daremos respuesta a las preguntas de investigación:

Con la implementación de un sistema de controlador de fuerza de tensión.

- a. ¿Se podrán reducir los defectos de calidad con la modernización del sistema de frenos de la zona de desbobinado de rollos de la máquina cortadora?
Si, debido a que las variables de tensión y velocidad se han controlado y normalizado, las variaciones de medidas ya no ocurren ni por causas atribuibles al operador ni a problemas del material enrollado al ser desbobinado.

- b. ¿Se incrementará la productividad con la instalación de un controlador PLC?
Si, porque la modernización permite que la máquina trabaje a mayor velocidad la mayor parte del tiempo, al tener bajo control las tensiones de hoja en zona de desbobinado, se generan menos rupturas y por lo tanto, menos paros de máquina para realizar los empalmes.
- c. ¿Será posible reducir los tiempos muertos de producción por fallas y reparaciones de mantenimiento?
Si, en primera porque los elementos están nuevos, en segunda porque el diseño especial del freno aumenta el flujo de aire a través del sistema, reduciendo el calor y prolongando la vida útil de las zapatas. El diseño con ventiladores mantiene el freno fresco incluso a bajas velocidades. Las pastillas de freno duran más tiempo y reducen el ruido y el polvo. Su reposición y mantenimiento del disco era de los principales motivos de altos tiempos de paro por mantenimiento.

5.2 Recomendaciones

En el área de acabados existen otras máquinas entrando a la obsolescencia, son cortadoras a formatos pequeños tipo carta, oficio y doble carta, a los cuales se podría implementar el mismo proyecto aprovechando la experiencia y los cálculos ya realizados.

Se puede implementar una conexión del PLC con la intranet de la empresa, para de esta manera monitorear en tiempo real a la producción, velocidad, paros y causas de paro para generar reportes automáticos en una computadora servidor, acorde a la industria 4.0.

Al tener varias máquinas con los mismos repuestos se lograría una estandarización técnica en refacciones y métodos, esta idea nace porque se observó que el conjunto actuador de freno es fácilmente adaptable por sus componentes, diseño ligero comparado a lo original y esto ayudaría a bajar inventarios de almacén al no tener que reservar espacios y adquirir repuestos para 5 máquinas diferentes.

CAPITULO 6. REFERENCIAS

- Creus, A. (2011) Neumática e Hidráulica. México: Alfa Omega, Editorial. Marcombo.
- Damour J. (2004). THE_MECHANICS_OF_TENSION_CONTROL.pdf. Extraído en agosto 2019 de <http://www.pffc-online.com/mag/2889-paper-web-tension>
- EE. (2020). Frenos Neumáticos para portarrollos. Extraído en agosto 2020 de <https://www.ee-co.com/mx/products/frenos-neumaticos-para-desembobinado>
- Festo. (2014). Automatización Industrial con Neumática Festo México. <https://www.festo-didactic.com/int-en/>
- Gilbert W. (2018). Web Tension Control Fundamentals. Extraído en agosto 2019 https://www.aimcal.org/uploads/4/6/6/9/46695933/gilbert_presentation.pdf
- Idealsystems. (2020). Guillotina de papel, el origen. Extraído en agosto 2020 de <http://www.guillotinapapel.es/guillotina-de-papel-el-origen/>
- Idealsystems. (2020). Guillotinas Ideal, ejemplos por cada tipo. Extraído en agosto 2020 de <http://www.guillotinasideal.es/guillotinasideal-ejemplos-por-cada-tipo/>
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna, 5ta edición. España: Editorial Prentice Hall.
- Pondercel. (2017). Manual Capacitación. Conocimientos Básicos de Conversión. Cuauhtémoc: Pondercel S.A. de C.V.
- Pondercel. (2019). Manual Capacitación. Conocimientos Básicos Operador Will 1. Cuauhtémoc: Pondercel S.A. de C.V.
- Pondercel. (2017). Manual Capacitación. Conocimientos Básicos Producción Papel. Cuauhtémoc: Pondercel S.A. de C.V.
- Pondercel. (2015). Manual Capacitación. Conocimientos Básicos Strecker 2051. Cuauhtémoc: Pondercel S.A. de C.V.

Pondercel. (2014). Manual Capacitación. Curso TIA Portal V13. Cuauhtémoc:
Automatización y control. Grupo Rosa.

Siemens. (2001). TIA Manual de formación. Extraído en junio 2018 de
<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/classic/appendix/i-fundamentals-s7-es.pdf>

Wikipedia. (2008). Guillotina. Extraído en agosto 2019 de
<https://es.wikipedia.org/wiki/Guillotina>

Wikipedia. (2008). Cuchilla (herramienta). Extraído en agosto 2019 de
[https://es.wikipedia.org/wiki/Cuchilla_\(herramienta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuchilla_(herramienta))

<https://www.renovainnovations.com/products/breaks/turborex>

<https://www.renovainnovations.com/products/control-system/ep-converter>

https://www.wika.com.mx/111_10_111_12_es_es.WIKA?ProductGroup=75375

https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia_portal/pages/tia-portal.aspx

https://www.wincofp.com/item_images/mfg_catalogs/ControlAir/03%20%20Transducers_&_Transmitters~2009.pdf

<https://new.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/field-pg.html>

<https://piecal.com/wp-content/uploads/2017/03/820E-9002-Rev-D-PIE-820-ELITE-Op-Inst.pdf>

<https://www.atlascopco.com/es-mx/compressors/wiki/compressed-air-articles/air-moistair>

<https://www.atlascopco.com/es-mx/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-compressed-air>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tica>

<https://www.romecoinustrial.com/2018/04/25/manguera-neumatica-tubing-neumatico/>

<https://www.romecoinustrial.com/2018/04/24/conexion-neumatica-racor-neumatico/>

<https://es.omega.com/prodinfo/galgas-de-presion.html>

[https://www.femto.es/manometrodigital#:~:text=El%20man%C3%B3metro%20digital%20es%20un,cambios%20de%20unidad%2C%E2%80%A6\).](https://www.femto.es/manometrodigital#:~:text=El%20man%C3%B3metro%20digital%20es%20un,cambios%20de%20unidad%2C%E2%80%A6).)

<https://www.romecoinustrial.com/2019/01/14/valvulas-electrovalvulas-valvulas-solenoides-que-son/>

<https://www.augi.es/es/productos-aplicaciones/procesado-y-manipulado-de-papel-plastico-y-carton/desbobinado/>

<https://piecal.com/wp-content/uploads/2017/03/820E-9002-Rev-D-PIE-820-ELITE-Op-Inst.pdf>

<https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-175>

CAPITULO 7. ANEXOS



ANTLIA

ELECTROPNEUMATIC CONVERTER

Datasheet 02010/EN - 11/17 v2



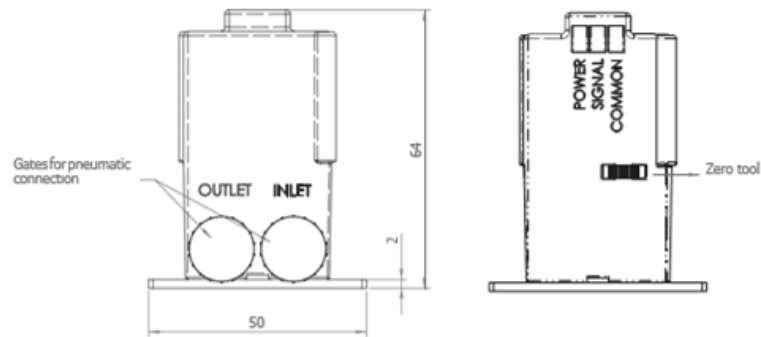
- ✓ Open-loop transducer
- ✓ Control of both closed-loop and open-loop web tension regulation systems
- ✓ Used with pneumatic brake or clutch
- ✓ Compact design
- ✓ Good price to quality ratio

Antlia is an electropneumatic converter, which help you to obtain highest tension precision of the web; recommended for the excellent price/performance ratio, it can be used both on open-loop and closed-loop systems.

Thanks to its compact dimension (32x34x64 mm) it can be easily installed near the brake or the clutch it is connected to, in order to obtain the maximum performance.

Antlia proportionally transforms an input electric signal into a pneumatic signal. |

TECHNICAL DRAWING



TECHNICAL DATA

Power supply	24 Vdc
Input signal	0÷10V (on request 4÷20mA)
Working temperature	0÷60°C
IP protection class	IP30
Electromagnetic compatibility with CE requirements emissions immunity	Emissions EN61000-6-4: 2001 Immunity EN61000-6-2: 1999

Pneumatic connections

Supply over max output pressure	1.5 bar (22psi) min
Output pressure	0÷6 bar (0÷90 psi) max - different outputs on request
Fluid	oil free, dry air, filtered to 5 microns
Connections	1/8" NPT

*Data are subject to technical change without notice

Multímetro digital Fluke 175

El multímetro digital de valor eficaz verdadero Fluke 175 es el punto de partida para los técnicos profesionales de todo el mundo. Además de incluir todas las funciones necesarias para solucionar problemas y reparar muchas averías de los sistemas eléctricos y electrónicos, el multímetro digital Fluke 175, con clasificación CAT IV 600V/CAT III 1000 V, también ofrece lecturas precisas de valor eficaz verdadero gracias a años de servicio confiable.

Características principales

Selección manual y automática de rangos

Retención de valores en pantalla y auto retención

Medida de frecuencia y capacidad

Medida de resistencia, continuidad y diodos

Registro de mínimos, máximos y promedio

Calibración a carcasa cerrada a través del panel frontal

Carcasa ergonómica con funda protectora integrada

Homologación de seguridad

Especificaciones: Multímetro digital Fluke 175 de valor eficaz verdadero

Especificaciones

Voltaje de CC	Precisión ¹	$\pm(0.15 \% + 2)$
---------------	------------------------	--------------------

Resolución máxima 0.1 mV

Máximo	1000 V
--------	--------

Voltaje de CA	Precisión ¹	$\pm(1.0 \% + 3)$
---------------	------------------------	-------------------

Resolución máxima 0.1 mV

Máximo 1000 V

Corriente CC Precisión¹ $\pm(1.0 \% + 3)$

Resolución máxima 0.01 mA

Máximo 10 A

Corriente CA Precisión¹ $\pm(1.5 \% + 3)$

Resolución máxima 0.01 mA

Máximo 10 A

Resistencia Precisión¹ $\pm(0.9 \% + 1)$

Resolución máxima 0.1 Ω

Máximo 50 M Ω

Capacidad Precisión¹ $\pm(1.2 \% + 2)$

Resolución máxima 1 nF

Máximo 10 000 μ F

Frecuencia Precisión¹ $\pm(0.1 \% + 1)$

Resolución máxima 0.01 Hz

Máximo 100 kHz

Calibrador de Procesos PIECAL 820

Tomado del manual de operación del Instrumento

PIE 820-ELITE

**Multifunction
Process Calibrator**
mA • V • pH • TC • Ω • RTD • Freq • Pressure

Operating Instructions



CE



FIELD & BENCH USE

PIE 820-ELITE comes with a carrying case designed for hands-free operation and a rubber boot with a built-in tilt stand. The PIE 820-ELITE is held in the case by elastic straps for use with the carrying case open. The tilt stand is easily raised by pulling the stand until it locks into place.

CHANGING BATTERIES

Low battery is indicated by a battery symbol on the display. Approximately one to four hours of typical operation remain before the PIE 820-ELITE will automatically turn off. To change the batteries; remove the rubber boot, remove the battery door from the back of the unit by sliding the door downward. This allows access to the battery compartment. Replace with four (4) "AA" 1.5V batteries being careful to check the polarity. Replace the battery door and replace the boot. All stored configuration options (T/C Type, EZ-CHECK Memories, etc.) reset to factory settings when the batteries are removed.

Note: Alkaline batteries are supplied and recommended for typical battery life and performance. Optional rechargeable batteries (charged externally) are available.

Practical Instrument Electronics
82 East Main Street Suite 3.14 • Webster, NY 14580 USA
Tel: 585.872.9350 • Fax: 585.872.2638 • sales@piecal.com • www.piecal.com

Operating Instructions

STORING HI and LO EZ-CHECK Source Outputs

Speed up your calibration by storing Span & Zero output setting for instant recall with the EZ-CHECK switch.

- 1) Store your high (SPAN) output temperature by moving the EZ-CHECK switch to the **HI** position and turning the EZ-Dial knob until the desired output value is on the display. Press and hold the EZ-Dial knob until **STORED** appears to store the value. Release the EZ-Dial knob.
- 2) Store your low (ZERO) output value by moving the EZ-CHECK switch to the **LO** position and turning the EZ-Dial knob until the desired output value is on the display. Press and hold the EZ-Dial knob until **STORED** appears to store the value. Release the EZ-Dial knob.
- 3) Instantly output your SPAN and ZERO output settings by moving the EZ-CHECK switch between HI and LO. You may also select any third output setting (such as mid-range) using the SET position on the EZ-CHECK switch.

Connections

PIE 820-ELITE has banana jacks compatible with unshielded or retractable banana plugs. Included with your calibrator are a pair of test leads with alligator clips for mA, V, pH & Hz connections. Four test leads with spade lugs are also included for 2, 3 and 4 Wire RTD connections. Thermocouple connections are made through a miniature thermocouple socket and pressure modules plug into the pressure connector.



Operating Instructions

Basic Operation



① EZ-CHECK™ SWITCH

SOURCE: Instantly output two preset settings by moving the EZ-CHECK™ switch to the "LO" position or "HI" position. For fast three point checks select the "SET" position. The PIE 820-ELITE will remember the last "SET" value, even with the power off.

These values can easily be changed to suit the calibration requirements. The values stored in the HI and LO positions are also used for Auto Stepping.

READ: Slide the switch to the "SET" position. The PIE 820-ELITE will display the current reading from the sensor or device being measured. Slide the switch to MAX and the highest value measured since turn-on or reset will be displayed; slide the switch to MIN and the lowest value measured since turn-on or reset will be displayed.

Operating Instructions

Basic Operation

② SOURCE/OFF/READ Switch

Select **"SOURCE"** to output mA, V, pH, T/C, Ω , RTD or frequency.
Select **"READ"** to read mA, V, T/C, Ω , RTD, pressure or frequency.
Select **"OFF"** to turn off the 820-ELITE.

③ EZ-DIAL™ KNOB

SOURCE: Turn the knob to adjust the output level. Turn clockwise to increase the output, counter clockwise to decrease the output in one least significant digit step at a time. Push down and turn the EZ-DIAL knob for faster dialing.

Press and hold the knob for two seconds to store desired EZ-Check™ HI/LO points in SOURCE mode. Continue to press and hold the knob for two more seconds to start the automatic ramping.

READ: Press and hold to transfer the current measurement into the EZ-Check™ MIN/MAX points. This clears the MIN/MAX readings which will update as the input value changes.

SELECTING FUNCTIONS

The EZ-DIAL knob is used to setup the PIE 820-ELITE to match the instrument to be calibrated or signal to be measured. Each time you turn on the PIE 820-ELITE the LCD displays the following screen for about 1 second followed by operating in the function used the last time it was operated.

PIE 820-ELITE
DOUBLE CLICK
EZ-DIAL KNOB
FOR CONFIGURATION
V###

Double Click the EZ-DIAL knob to change the function of the calibrator and to select ranges, units and other user settings. Each function (mA, V, T/C, Ohms, RTD, Frequency, Pressure & pH) has up to three pages of menus. The first menu page has settings for the function and the last menu page has settings for STEPPING, AUTO OFF and BACKLIGHT. Settings are remembered even with the power off but are reset when the batteries are changed.

Operating Instructions

Double Click Menus - MAIN Page

Double click the EZ-DIAL knob to access the Double Click Menus. Shown are the **MAIN** menus for each function. Turn the knob to scroll thru the menus and press the knob to select. Default settings are represented in black and other choices in grey.

Source mA & Simulate 2 Wire Transmitters

MAIN

> EXIT
FUNCTION mA
MODE SOURCE 2W SIM
UNITS mA %
HART 250 Ω ON OFF

Read mA, Power/Measure Transmitters & Leak Detect

> EXIT
FUNCTION mA
MODE READ PWR MEAS
UNITS mA %
HART 250 Ω ON OFF [No 250 Ω in Leak Detect]

Source V & mV

>EXIT
FUNCTION V
RANGE 10V 100mV 1V

Read V & mV

>EXIT
FUNCTION V
RANGE 10V 1V 60V 100mV

Source pH

> EXIT
FUNCTION pH

Source & Read Frequency

> EXIT
FUNCTION FREQ
RANGE 20KHZ 10000HZ 1000HZ 2000CPM



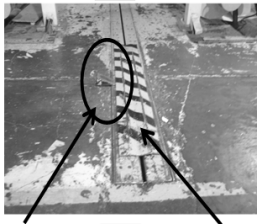
PROCEDIMIENTOS PARA CORTADORAS

Área	Sección:	Clave registro:
Hojeadoras y cortadoras	desbobinadores	AV-COR-12

Descripción CAMBIOS DE SET GENERAL

Básico: ☒ Opcional: ☐
 secuencia de trabajo ☐ seguridad para el operador ☒ Puntos de calidad ☐ Puntos críticos del proceso ☒

Elaborado por: Ignacio Muñoz y José Chávez

1	2	Sí:	No:	PASOS A SEGUIR:	PUNTOS CLAVE:	RAZÓN:
		☒	☐	0 *Leer cada uno de los puntos a seguir del registro AV-COR-12	*Cualquier duda comunicarse con el coordinador de turno.	Utilizar el equipo de protección personal requerido y realizar el procedimiento correctamente
NOTA				Antes de iniciar el cambio, todos los operadores deberán ponerse la faja lumbar y ajustarla, así como checar alineación de los rollos.		
		☐	☐	1 Cortar la hoja del rollo que se termina y	Por ningún motivo debe realizar esta actividad un solo operador	Es muy importante que al empujar el rollo hacia los desbobinadores o cuando se está subiendo a la patineta las personas se coloquen en una posición donde se puedan quitar fácilmente si el rollo llegara a devolverse de la patineta
				2 abrir los brazos sujetacentros para quitar el sobrante.		
				3 Posicionar la patineta y poner una cuña antes de subir el rollo.		
				4 Acompañarse en pareja para empujar el rollo hacia la patineta.		
				5 De nuevo acompañarse en pareja para empujar el rollo hacia los desbobinadores		
				6 Empujar el rollo hacia los sujetacentros teniendo cuidado que no se vaya a regresar de la patineta		

REQUERIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN



PÁGINAS

1 de 1

FECHA:

REVISIÓN

MARZO - 2012

1

10 Puntos de mucho riesgo en el área de conversión

1. Cortaduras en Envolvedoras de Resmas. Cortes en manos y dedos por las cuchillas de la cizalla cuando se tienen problemas con el papel de envoltura por traer curvatura.
2. Golpes y Lumbalgias. En las estaciones de Desbobinado, pueden ocurrir golpes en diferentes partes del cuerpo con los rollos o dolores de espalda por no usar la faja de seguridad o realizar sobre esfuerzos.
3. Cortaduras en corte longitudinal. Cortes en dedos y manos por filos sumamente agudos de las cuchillas si no se usan los guantes adecuados y la precaución necesaria.
4. Golpes en áreas de fletadoras. Caídas y golpes por tropezar con flejes tirados por falta de limpieza.
5. Quemaduras en Cajas Nordson. Se pueden sufrir quemaduras en varias partes del cuerpo con los inyectores de goma o directamente en las cajas de fundición si no se tienen las precauciones necesarias en el manejo, las temperaturas que se manejan son arriba de los 100°C.
6. Golpes por Montacargas. Se pueden tener accidentes con los montacargas si no se tiene la precaución tanto del operador como de los peatones, en el área de conversión se tiene tráfico de montacargas las 24 hrs del día.
7. Machucones. Se tiene el riesgo de machucones en manos por rodillos o bandas de las diferentes máquinas si se meten las manos cuando la máquina está en operación.

8. Golpes Diversos. Se tiene la cultura de apoyar a mantenimiento durante los paros de máquinas, si no se tiene el conocimiento de las herramientas y el equipo se pueden sufrir golpes diversos en varias partes del cuerpo.

9. Cortaduras por Navajas y Papel. Se pueden sufrir cortaduras por el uso de las navajas Stanley o del papel mismo si no se usan los guantes cuando se está trabajando.

10. Golpes o Machucones con rollos. En los cambios de set, se pueden tener golpes o machucones muy graves si no se tiene la precaución al manejar los rollos, se debe seguir al pie de la letra los procedimientos establecidos para esto.