



Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. CUAUHTÉMOC
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

“Actualización del Control en Máquina Rebobinadora de Papel”

Presentada por:

Pedro Martín Armendáriz Mancinas

Tesis de grado para obtener el título de maestro en ingeniería

Directores de tesis:

Dr. David Sáenz Zamarrón

M.C. Nancy Ivette Arana de las Casas

Cd. Cuauhtémoc, Chih. Mayo del 2020.



Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. CUAUHTÉMOC
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

“Actualización del Control en Máquina Rebobinadora de Papel”

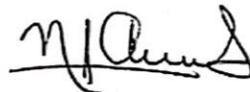
Presentada por:
Pedro Martín Armendáriz Mancinas

Tesis de grado para obtener el título de maestro en ingeniería

Directores de tesis:



Dr. David Sáenz Zamarrón



M.C. Nancy Ivette Arana de las Casas

Cd. Cuauhtémoc, Chih. Mayo 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. **24/Junio/2020**

OFICIO No. **DEPI/20-1/023**

C. PEDRO MARTÍN ARMENDARIZ MANCINAS
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
NO. CONTROL: G17610001
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 6 ejemplares electrónicos de la tesis aprobada, cuyo título es:

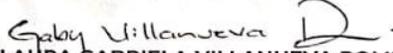
"Actualización del Control en Máquina Rebobinadora de Papel"

Y su contenido es:

I INTRODUCCIÓN
II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
III MARCO TEÓRICO
IV MATERIALES Y MÉTODOS
V DESARROLLO Y RESULTADOS
VI CONCLUSIONES
VII BIBLIOGRAFIA

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. **12/Junio/2020**

OFICIO No. **DEPI/20-I/017**
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE TESIS DE GRADO

C. PEDRO MARTÍN ARMENDARIZ MANCINAS
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA
NO. CONTROL: G17610001
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 Control en Máquina Rebobinadora 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"

Gaby Villanueva D.
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 Chihuahua

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

Cd. Cuauhtémoc, Chih. **12/Junio/2020**

OFICIO No. DEPI/20-I/018

ASUNTO: ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

**C. PEDRO MARTÍN ARMENDARIZ MANCINAS
PRESENTE.**

Por medio del presente se le informa que la tesis "Actualización del Control en Máquina Rebobinadora 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 SÁENZ 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 (614) 5811707
www.techno.mx | www.itecnocuitaano.edu.mx

DECLARACIÓN.

Yo, Pedro Martín Armendáriz Mancinas, declaro bajo juramento que el trabajo descrito en este documento de tesis es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para la obtención de algún grado o calificación profesional, y han sido consultadas las referencias bibliográficas que están incluidas en el documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la empresa PONDERCEL S.A. de C.V. y al INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD CUAUHTÉMOC, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normatividad Institucional Vigente.



Pedro Martín Armendáriz Mancinas.

Estudiante Maestría en Ingeniería.

martin_arma@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por proveerme de la fortaleza física y emocional, para enfrentar la tarea que tenía por desarrollar.

A mi esposa:

Por su paciencia y comprensión, por ser mi confidente y consejera.

A mis hijos:

Por haberles privado del tiempo destinado para su cuidado y atención.

A mi padre:

Por sus consejos en mi niñez y su apoyo incondicional. Saludo y abrazo fuerte hasta el cielo.

A mi madre:

Por su comprensión, al recibir menos apoyo y tiempo de mi parte en esta etapa.

A mis hermanos:

Porque siempre están con una palabra de aliento.

A mi director:

Dr. David Saénz Zamarrón

Por su tolerancia y paciencia, de quién recibí siempre el sabio consejo de manejar los tiempos y los compromisos por cumplir.

A mis maestros:

M.C Daniel Chapa, M.C Martín Berlanga, Dr. Cosme Santiesteban, Dr. Eduardo García, M.C Mario Anchondo, M.C Laura Villanueva, M.C Nancy Arana, M.C Fco. Alatorre

Por sus consejos, y compartir sus conocimientos y experiencias personales.

A mis compañeros:

por su solidaridad en los momentos difíciles y su alegría en los tiempos de convivencia.

Agradezco también al personal administrativo del instituto tecnológico de cd Cuauhtémoc.

Mi agradecimiento a Pondercel, al personal administrativo y operativo de la empresa, por su apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, que se realizó con un esfuerzo compartido de un servidor y las personas que siempre estuvieron ahí con su apoyo caluroso y solidario.

En especial a mi esposa y a mis dos hijos, por su comprensión y sus palabras de aliento en los momentos de dificultad.

A mi esposa: Blanca Leticia.

A mi hijo: Martín Gerardo.

A mi hija: Ileana Lizeth.

RESUMEN

La actualización del sistema electrónico, para el control del rodillo jinete instalado en una máquina rebobinadora de rollos de papel, es una condición que se volvió irrenunciable en Pondercel, el personal de producción de la empresa, reportó problemas con la operación del control de fuerza del rodillo, con el control de velocidad en su movimiento (ascenso, descenso, falta de movilidad y variación), en tal condición el operador de la bobinadora, debe prestar mayor atención al comportamiento y desempeño del rodillo, el operador realiza los ajustes de fuerza (carga) del rodillo en forma manual, pues no está funcionando el modo automático para el control de carga. El departamento de mantenimiento de la empresa hace notar la obsolescencia y antigüedad del equipo utilizado para el control del jinete, este sistema requiere de ajustes minuciosos y no se cuenta con refacciones suficientes, el departamento de calidad, ha reportado problemas en el embobinado de los rollos, afectando y estresando la estructura del papel.

De presentarse falla total en el control del jinete, provocaría paro de máquina y un cese de la producción, dado que, si no funciona el rodillo jinete la bobinadora queda inhabilitada para trabajar, pues; el rodillo contribuye a lograr un buen embobinado de los rollos y cumple funciones de seguridad al mantener los rollos en su posición, dada la importancia del jinete, mantenimiento debe asegurar su disponibilidad y una operación confiable, si el rodillo trabaja bien libera la atención del operador y este puede realizar otras actividades necesarias (reportes, llenado de formatos, envoltura de rollos, preparar el siguiente rollo, etcétera).

Es responsabilidad de mantenimiento actualizar el sistema de control. El nuevo sistema deberá suplir las funciones del equipo original, de fácil mantenimiento, adaptable, incluir mejoras extra, facilitar la operación del rodillo, tener una operación estandarizada, amoldable a las diferentes necesidades y variables de la producción, deberá tomar en cuenta que esta bobinadora es muy versátil, siendo variable el ancho y el diámetro de los rollos que rebobina, al cambiar las dimensiones el control de carga del jinete deberá ajustarse manual o auto regularse en modo automático.

Se pretende sea utilizado frecuentemente el control automático del rodillo, que el control manual sea opcional, aun así, el modo manual estará disponible para usarse en alguna condición especial, que este fuera de parámetros normales y/o que el criterio del operador así lo considere.

El nuevo control por PLC ofrecerá un mejor desempeño en velocidad y posicionamiento vertical del rodillo jinete, se buscará también que el control de carga se ejecute en lazo cerrado y la señal de retroalimentación será, la presión hidráulica en el interior de los cilindros como alternativa, al no tener celdas de carga que midan la fuerza que el rodillo aplica sobre los rollos en formación.

Para adecuar la actualización del sistema de control del jinete, se trabajará conforme a los lineamientos dictados por el departamento de mantenimiento, que especifican:

La especialidad de instrumentación y control determinará el equipo y materiales más adecuados, bajo la premisa de aprovechar lo existente en almacén y talleres de la empresa, todo lo que ocupe la implementación lo realizará el personal de instrumentación, apoyado de ser necesario, por el personal de otra especialidad, eléctrica, mecánica, producción, calidad, etc.

Se aplicarán procedimientos que cumplan con estándares de calidad, en la instalación de los equipos, la puesta en marcha y seguimiento para consolidar un buen comportamiento de lo instalado.

Serán resultados aceptables, si la operación del jinete es más estable y repetitivo en sus movimientos, que opere el control automático de carga, el operador se libere de la atención y ajustes para que realice otras actividades mientras la máquina termina un ciclo (set) o corrida, que los rollos cumplan criterios de calidad y tengan buen embobinado. Si se cumple lo anterior, se podrá declarar que el nuevo control es útil y confiable para la operación del rodillo jinete.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	17
ÍNDICE DE FIGURAS.....	18
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	21
ABREVIATURAS.....	25
INTRODUCCION.....	27
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
1.1. Preliminares.....	30
1.2. Definición del Problema.....	32
1.3. Pregunta de Investigación.....	34
1.4. Objetivos.....	35
1.4.1. Objetivo General.....	35
1.4.2. Objetivos Específicos.....	35
1.5. Hipótesis.....	36
1.6. Justificación.....	37
1.7. Limitaciones y Delimitaciones.....	39
2. MARCO TEÓRICO.....	42
2.1. Antecedentes.....	42
2.2. Bases Teóricas.....	45
2.2.1. Proceso Papelero.....	45
2.2.1.1. Etapa 1. Las Materias Primas.....	45
2.2.1.2. Etapa 2. Proceso Productivo.....	46
2.2.1.3. Etapa 3. Papel como Producto Terminado.....	52
2.2.2. Máquinas Bobinadoras.....	54
2.2.2.1. Tipos de Máquinas Bobinadoras.....	54
2.2.2.2. Secciones Principales en una Bobinadora.....	57
2.2.2.3. Proceso de Bobinado.....	60
2.2.2.4. Características de Rollos de Buena Calidad.....	64
2.2.2.4.1. Como se Define un Rollo de calidad.....	64
2.2.2.4.2. Importancia de la Dureza de los Rollos.....	65
2.2.2.4.3. Cómo Obtener la Dureza de las Bobinas.....	68

2.2.2.4.4. Medición de Dureza de las Bobinas.....	68
2.2.2.5. Defectos de los Rollos.....	71
2.2.2.5.1. Comienzo Pobre.....	71
2.2.2.5.2. Compensaciones Básicas.....	72
2.2.2.6. Control de Dureza en Cortadora de Dos Tambores.....	75
2.2.2.6.1. Principio General.....	77
2.2.2.6.2. Función de Seguridad del Rodillo Jinete.....	77
2.2.2.6.3. Presión del Jinete más Peso del Rollo.....	78
2.2.2.6.4. Control de Par del Tambor.....	79
2.2.2.6.5. Técnicas de Control de Par del Tambor.....	80
2.2.3. Rebobinadora de Dos Tambores Caso de Estudio.....	82
2.2.3.1. Datos Físicos de la Rebobinadora.....	82
2.2.3.2. Equipo Original de la Rebobinadora.....	86
2.2.3.3. Equipo Original para Control del Jinete.....	87
2.2.3.4. Equipos Hidráulicos del Rodillo Jinete.....	89
2.2.3.4.1. Servo-Válvula para el Rodillo Jinete.....	90
2.2.3.4.1.1. Control de Flujo en Servo P-Q.....	93
2.2.3.4.1.2. Control de Presión en Servo P-Q.....	94
2.2.3.4.1.3. Aplicación de Servo Válvulas P-Q.....	95
2.2.3.5. Mandos Eléctricos para Control del Jinete.....	97
2.2.3.6. Como se Opera el Rodillo Jinete.....	98
2.2.3.6.1. Secuencia Operativa Original del Jinete.....	98
2.2.3.6.2. Señales Originales para Control del Jinete.....	100
2.2.3.6.3. Importancia del Rodillo Jinete.....	102
2.2.3.6.4. Programas Automáticos de Alivio del Jinete.....	104
2.2.4. Control del Rodillo Jinete, Basado en PLC.....	106
2.2.4.1. Tipos de Datos Manejados en el PLC.....	108
2.2.4.2. Programar el Nuevo Control por PLC.....	109
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	111
3.1. Pasos a Seguir para Cumplir las Metas.....	111
3.2. Controles de Origen para Manejo del Rodillo Jinete.....	113
3.3. Equipos y Materiales para Actualizar el Control.....	115

4. DESARROLLO Y RESULTADOS.....	120
4.1. Instalación General de Equipos.....	120
4.1.1. Actividad de Fijación y Montaje en el Taller.....	120
4.1.2. Realizar Cableados y Conexiones.....	121
4.1.3. Pruebas Previas a la Instalación.....	123
4.1.4. Instalar Equipos en la Rebobinadora.....	124
4.1.5. PLC Principal y PLC del Jinete.....	125
4.1.6. PLC 400 y sus Conexiones.....	126
4.1.7. Entradas Analógicas al PLC del Jinete.....	127
4.1.8. Pruebas y Mediciones en Máquina.....	129
4.2. Calcular Diámetro del Rollo en Formación.....	130
4.3. Control de Velocidad del Rodillo Jinete.....	131
4.4. Selección Tipo de Centros de Cartón.....	135
4.5. Conmutar al Modo Alivio del Jinete.....	137
4.6. Control de Presión, Previo Cambio al Modo Alivio.....	139
4.7. Modos de alivio para el Rodillo Jinete.....	142
4.8. Cálculo de Fuerza del Rodillo Jinete.....	145
4.8.1. Parámetros de la Cortadora para Uso en Cálculos.....	146
4.8.2. Cálculos del Rodillo Jinete Usados en el PLC.....	147
4.8.2.1. Ecuaciones y Términos de Cálculo.....	148
4.8.2.1.1. Ecuaciones para Cálculo.....	150
4.8.2.1.2. Cálculo Área de Trabajo, Extremo Tapa del Cilindro.....	152
4.8.2.1.3. Cálculo Área de Trabajo, Extremo Varilla del Cilindro.....	152
4.8.2.1.4. Cálculo Área Efectiva de Trabajo del Cilindro.....	153
4.8.2.1.5. Cálculo Presión de Alivio del Jinete.....	153
4.8.2.1.6. Cálculo de Peso y Masa del Rodillo Jinete.....	154
4.8.2.1.7. Ejemplo de Cálculo y Comprobación.....	157
4.8.2.1.8. Cálculo de Carga Lineal Aplicada por el Jinete.....	159
4.8.2.1.9. Concentrado de Valores Calculados.....	161
4.8.3. Medición de Presión y Cálculo de Fuerza del Jinete.....	162
4.9. Controlador de Fuerza del Jinete, en el Modo Alivio.....	164
4.10. Referencias de Salida a la Servo Válvula.....	167

4.11. Función del Jinete en el Control de Dureza.	168
4.11.1. Cálculo Aproximado del Peso del rollo.	169
4.11.2. Contribución del rodillo Jinete a la Dureza.	170
4.11.2.1. Gráfico de Cargas, en Uso Programa 1.	170
4.11.2.2. Gráfico de Cargas, en Uso Programa 2.	174
4.11.2.3. Gráfico de Cargas, en Uso Programa 3.	176
4.12. Medición de Dureza en Rollos de Papel.	178
4.12.1. Norma para Medir Dureza en Rollos de Papel.	179
4.12.2. Medir Dureza, en Rollos de Pondercel.	181
4.13. Seguimiento a la Puesta en Marcha.	184
5. CONCLUSIONES.	185
6. BIBLIOGRAFÍA.	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.2.1 Tipos de Papeles Blancos.....	53
Tabla.2.2 Datos Físicos y Operación de la Bobinadora.....	82
Tabla.2.3 Requerimientos de Recursos.....	83
Tabla.2.4 Sección de Desbobinado.....	83
Tabla.2.5 Corte Longitudinal del Papel.....	84
Tabla.2.6 Área de Bobinado de Rollos.....	84
Tabla.2.7 Rodillo Jinete y sus Dispositivos.....	85
Tabla.2.8 Sujetadores de Centros.....	85
Tabla.2.9 Zona de Expulsión de Rollos.....	85
Tabla.2.10 Controles de la Rebobinadora.....	86
Tabla.2.11 Características Eléctricas Servo-válvula P-Q.....	96
Tabla.2.12 Comandos del PLC 135 al Módulo Pu11r.....	101
Tabla.3.1 Equipos Auxiliares de Soporte al Rodillo Jinete.....	114
Tabla.3.2 Equipos y Materiales para Actualizar Control del Jinete.....	115
Tabla.4.1 Componentes en el Rack del PLC 400.....	121
Tabla.4.2 Magnitudes Físicas Útiles para Cálculos.....	146
Tabla.4.3 Parámetros de Programa del Rodillo Jinete.....	147
Tabla.4.4 Dimensión Cilindros Hidráulicos de la Rebobinadora.....	148
Tabla.4.5 Términos para Cálculo de Áreas y Presiones.....	149
Tabla.4.6 Factores a Usar por Configuración del Jinete.....	151
Tabla.4.7 Concentrado de Magnitudes Calculadas.....	161
Tabla.4.8 Factor de Cálculo en Diferentes Papeles.....	169
Tabla.4.9 Dureza en Rollos Embobinados en Pondercel.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1.1 Cortadora y Rebobinadora de Dos Tambores.....	31
Figura.1.2 Sistema Comercial para Control del Jinete.	40
Figura.2.1 Etapa de Conos Centrífugos.	47
Figura.2.2 Criba Presurizada.....	48
Figura.2.3 Cuchillas para el Proceso de Refinación.....	49
Figura.2.4 Refinador Electromecánico.	49
Figura.2.5 Proceso de Laminación del Papel.....	50
Figura.2.6 Máquina Bobinadora de Rollos de Papel.	51
Figura.2.7 Bobinadora de un Solo Tambor.....	55
Figura.2.8 Geometría de la Bobinadora de Dos Tambores.....	56
Figura.2.9 Vista General Máquina Bobinadora de Dos Tambores.	57
Figura.2.10 Ejemplo de un Buen Embobinado.	60
Figura.2.11 Centros de Cartón en el Embobinado de Rollos.	61
Figura.2.12 Rodillo Jinete en Bobinadora de Dos Tambores.	62
Figura.2.13 Presentación Final de un Rollo.....	63
Figura.2.14 Ráfaga de Tensión, de Máquina Cruzada.....	65
Figura.2.15 Muestra de Papel con Bultos o Cimas.	66
Figura.2.16 Papel con Áreas Holgadas o Canales.....	66
Figura.2.17 Defectos Causados por Bandas de Humedad.	67
Figura.2.18 Medidor de Dureza de Rollos, Rhometer.	69
Figura.2.19 Medidor de la Dureza en Rollos, PARO tester.	69
Figura.2.20 Medidor de Dureza, Aguja Smith.....	70
Figura.2.21 Curva de Densidad del Rollo AccuWind.....	70
Figura.2.22 Muestra de Rollo con Mal Inicio.	72
Figura.2.23 Rollo con Centro de Cartón Desplazado.....	72
Figura.2.24 Muestra de Rollos Estrellados.....	73
Figura.2.25 Muestra de Rollo Telescopio.....	74
Figura.2.26 Rollo con Mal Embobinado.	74
Figura.2.27 Rollos con Anillos de Corte y Mal Embobinado.....	74
Figura.2.28 Función del Jinete en Bobinadora de Dos Tambores.....	77

Figura.2.29 Manejo de Torque en los Tambores.....	79
Figura.2.30 Control por Diferencia de Torque.	80
Figura.2.31 Módulo Pu11r.....	88
Figura.2.32 Esquemático del control electrónico.....	88
Figura.2.33 Control Electrohidráulico en el Rodillo Jinete.	89
Figura.2.34 Esquema Interno de Servo Válvula P-Q.....	91
Figura.2.35 Bloques de Control en Servo Válvula P-Q.	92
Figura.2.36 Función de Presión en Servo Válvula P-Q.	95
Figura.2.37 Conexión Limitación de Presión Superpuesta.....	96
Figura.2.38 Imagen de Rodillo Jinete Presionando un Rollo.....	103
Figura.3.1 Serie de Pasos para Alcanzar las Metas.....	111
Figura.4.1 Fotografía de PLC s7 400 de Siemens.	120
Figura.4.2 Conexiones Eléctricas del PLC.	122
Figura.4.3 Trabajos de Taller Previos a la Instalación.....	123
Figura.4.4 Interconexión PLC del Jinete con PLC Principal.	125
Figura.4.5 Entradas y Salidas al PLC 400.....	126
Figura.4.6 Conexiones Físicas E/S al PLC 400.....	127
Figura.4.7 Acondicionamiento Señal de Posición y Alivio.	128
Figura.4.8 Acondicionamiento de Señal de Ancho y Presión.....	128
Figura.4.9 Geometría Para Calcular el Diámetro del Rollo.	130
Figura.4.10 Control de Flujo para Subir y bajar el Jinete.	131
Figura.4.11 Comportamiento de Presión y flujo en el modo subir.	132
Figura.4.12 Comportamiento Presión y Flujo en el Modo Bajar.	134
Figura.4.13 Selección del Tamaño de Centro a Utilizar.	135
Figura.4.14 Imagen Selector de Centros.....	136
Figura.4.15 Display Posición del Jinete y Selector de Centros.	136
Figura.4.16 Detección de Velocidad Mínima del Jinete.....	138
Figura.4.17 Referencia de Presión en el Descenso del Jinete.....	139
Figura.4.18 Referencia Presión para Preparar el Modo Alivio.....	141
Figura.4.19 Controles para Mando del Rodillo Jinete.....	142
Figura.4.20 Curvas de Carga para el Rodillo Jinete.....	143
Figura.4.21 Modo de Alivio Automático y Manual.	144

Figura.4.22 Elementos de Control del Rodillo Jinete.....	145
Figura.4.23 Vista en Corte de un Cilindro Hidráulico.....	147
Figura.4.24 Configuraciones de instalación de un Rodillo Jinete.	151
Figura.4.25 Cálculo de Fuerza del Jinete Basado en la Presión.	162
Figura.4.26 Transmisor de Presión Hidráulica.	163
Figura.4.27 Controlador de Fuerza PI.	165
Figura.4.28 Control de Presión del Jinete en el Modo Alivio.	166
Figura.4.29 Referencias analógicas a la Servo Válvula.	167
Figura.4.30 NIP entre los Tambores el Rollo y el Jinete.	168
Figura.4.31 Programa 1, Ancho del Rollo 19.6”	171
Figura.4.32 Programa 1, Ancho del Rollo 39.3 “	172
Figura.4.33 Programa 1, Ancho del Rollo 98.4”	173
Figura.4.34 Programa 2, Ancho del Rollo 19.6 “	174
Figura.4.35 Programa 2 Ancho del Rollo 98.4 “	175
Figura.4.36 Programa 3, Ancho del Rollo 19.6”	176
Figura.4.37 Programa 3, Ancho del Rollo 98.4”	177
Figura.4.38 Medidor de Dureza Superficial de Rollos.	178
Figura.4.39 Vista en Corte Martillo para Prueba de Dureza.....	180
Figura.4.40. Dureza en rollos de Pondercel.	183

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Antiespumante	Sustancia química utilizada para evitar la formación de espuma en los líquidos.
Área de Depuración	El objetivo de este proceso es quitar las impurezas de la pasta.
Bobinadora	Máquina que sirve para cortar las bobinas madre a medidas requeridas por el cliente.
Calibre	Espesor del papel, se busca que el espesor del papel sea uniforme a todo lo ancho.
Carga mineral	Material mineral en forma de polvo que se adiciona al papel.
Caudal	(flujo) cantidad o nivel de una determinada sustancia que fluye por un cierto lugar durante un cierto periodo de tiempo.
Celulosa	Es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas, se emplea en la fabricación de papel, tejidos, explosivos, barnices, etc.
Consistencia	En la industria del papel la consistencia se refiere en una mezcla acuosa de fibras y agua. La consistencia se da como el porcentaje de fibra contenida en el agua.
Conos centrífugos	Limpieza en base a peso. Separa las partes pesadas que puedan venir en la pasta como: tierra, fierro, etc.
Cribado	Limpieza en base a tamaño. Separando contaminantes de mayor tamaño al de las fibras.
Deareador	Sirve para extraer burbujas de aire, contenidas en la mezcla de fibras con agua, estas burbujas de no extraerse generan

defectos y explosiones en la hoja. .

Depurar	Limpiar de suciedad o impurezas a una sustancia.
Display	Monitor o pantalla de visualización de datos.
Drenado	Extracción de agua durante la formación del papel.
Dureza	La dureza, es resistencia de un material a la penetración o a la deformación a una fuerza dada. Para probar rollos de papel, la medición es generalmente una desviación no destructiva. Se hace uso de dispositivos especiales para medirla.
Encolado	Resistencia del papel a la penetración de soluciones acuosas.
Fibrilación	Ramificaciones en la pared de la fibra que sirve para unirse a otras fibras, la fibrilación se consigue en el proceso de refinación.
Gramaje	Peso en gramos de un papel por metro cuadrado.
Merma	Producción que no cumple con especificaciones de cliente y se tiene que reprocesar.
Nip	Máximo punto de contacto entre 2 rodillos.
Papel bond	Es la superficie perfecta para deslizar un lápiz o un bolígrafo. La opacidad es una cualidad de este papel, ya que es común usar ambos lados. Se usan para escritura e impresión. Pueden ser blancos, marfil o de colores.
Pulper	Recipiente con un rotor en su parte inferior donde se agregan las fibras en pacas o rollos y agua para desfibrarlos,

creando una suspensión que se utiliza para la fabricación del papel.

Presión	Magnitud que mide la fuerza que se aplica en una superficie. Es la fuerza que se ejerce en forma perpendicular por unidad de área. Sus unidades de medida entre otras pueden ser psi, bar, kpa, kg/cm ² .
Referencia	Es el valor de consigna, que se fija como meta por alcanzar en un control automático.
Refil o refile	Es el corte de la orilla o tirilla sobrante de la hoja que se manda al pulper para ser reprocesado.
Servo-válvula	Son accionadores de tipo neumático o hidráulico que conectan dos o más vías por las que circula un fluido. La diferencia con las válvulas es que estas son de tipo todo o nada, mientras que las servo válvulas tienen la posibilidad de controlar la presión o el caudal.
Set o Corrida	En la industria del papel el término set, por ejemplo; es usado en las rebobinadoras y es una corrida completa con arranque y paro de la máquina y sacar un conjunto de rollos ya embobinados y cortados, con el diámetro y el ancho correcto.
Set point	Punto de ajuste o punto de referencia para fijar algún parámetro de operación
Suspensión	En química, suspensión es una mezcla heterogénea formada por un sólido en polvo y/o pequeñas partículas no solubles

Torque

Es el efecto total de una fuerza, determinado al multiplicar la magnitud de la fuerza por la distancia del centro de la polea a la recta de acción de la fuerza, unidad (Kgm)

ABREVIATURAS

A _{ef}	Área efectiva.
A _{ef}	Área efectiva total.
CPU	Unidad central de proceso.
Lbs	Libras.
m	Metro.
Mts	Metros.
mm	Milímetros.
ms	Milisegundo.
b	Bar.
Kg	Kilogramos.
N	Newtons.
V	Volts.
V _{cd}	Voltaje corriente directa.
V _{ca}	Voltaje corriente alterna.
Pot	Potenciómetro.
Pulg	Pulgadas.
G	Gravedad.
Kw	Kilowatts.

PFLO	Presión de flotación del rodillo jinete.
PI	Proporcional Integral.
FD	Tambor frontal.
RD	Tambor trasero.
Amp	Amper.
A/D	Análogo / Digital.
D/A	Digital / Análogo.
E/S	Entrada / Salida.
PLC	Controlador lógico programable.
RJ	Rodillo Jinete.
LVDT	Transformador diferencial de variación lineal.

INTRODUCCION

El proceso de fabricar papel maneja gran cantidad de variables físicas y químicas, que deben primero medirse si se aspira tener cierto control sobre ellas, primordialmente, considerando que una lámina de papel es delicada y exige un manejo suave y controlado para evitar daños irreversibles en su presentación.

Por lo general, en etapas finales del proceso de fabricación del papel, se encuentra la máquina cortadora y bobinadora, en el proceso de Pondercel es una cortadora de doble tambor con rodillo jinete. Este tipo de máquinas requieren un alto grado de automatización, necesaria para obtener rollos de papel con presentación y calidad aceptable.

En la máquina bobinadora de dos tambores, es importante y útil el empleo del rodillo jinete, primero por seguridad para evitar que al estar girando los rollos sobre los tambores puedan desplazarse fuera de ellos, segundo para obtener un buen embobinado. La fuerza controlada que el jinete aplica en todo momento sobre los rollos asegura una buena compactación, sin olvidar la necesidad de tener un buen control de tensión de la hoja durante la corrida y el control de la diferencia de velocidad entre el tambor frontal y el tambor trasero que también contribuyen en la dureza y buen embobinado.

El sistema que controla la dinámica del rodillo jinete, debe ser confiable y su comportamiento el adecuado, ante los diferentes patrones de corte que maneja la máquina, facilitando la operación del equipo.

Motivó, el desarrollo de este trabajo el comportamiento errático del rodillo, funciones que ya no fue capaz de desempeñar el control electrónico original, este control llegó a un alto nivel de obsolescencia y falta de refacciones.

Previo a la actualización del control, en un inicio se deben estudiar las funciones del equipo original instalado, sus principios de operación, las variables físicas involucradas, mediciones eléctricas y su manejo, software y programación si la hay, lo anterior da punto de partida para saber, los beneficios que proporciona el sistema instalado e iniciar la búsqueda del equipo adecuado que supla esas funciones e incluso

las supere.

El sistema de control actualizado debe contribuir para obtener rollos con compactación similar sin importar el ancho y el diámetro, proporcionar buen control de velocidad y posición del rodillo, control en lazo cerrado de la fuerza aplicada por el rodillo sobre las bobinas, debe ser un equipo confiable y fácil de manejar.

Este escrito muestra el desarrollo necesario y la búsqueda de las mejores alternativas para mejorar el comportamiento del rodillo jinete en la bobinadora.

El contenido se delimitó por capítulos, cada uno encabeza un tema principal y se profundiza lo necesario para exponer al lector aspectos relevantes de las máquinas bobinadoras, su rodillo jinete y lo que involucra.

El contenido del escrito está distribuido de la siguiente manera:

Capítulo 1, en este capítulo se aborda lo referente a la problemática por resolver, objetivos, antecedentes, justificación, limitaciones e hipótesis.

Capítulo 2, se encuentran en este capítulo, los trabajos antecedentes sobre el proceso de corte y bobinado, bases teóricas contenidas en la literatura relacionada con la fabricación del papel y las máquinas bobinadoras.

Capítulo 3, los métodos empleados para llevar a buen término el logro de los objetivos planteados. Características técnicas e información de los diferentes materiales y equipos utilizados al implementar la actualización del control.

Capítulo 4, Descripción del desarrollo de las diferentes actividades que se realizaron, para el logro de las metas planteadas.

Se exponen en este capítulo, los resultados y mejoras conquistadas, una vez que se implementó la actualización del equipo.

Capítulo 5,

Lo referente a conclusiones, algún resultado que permita validar o invalidar algún supuesto, las ventajas o mejoras que presenta el sistema de control actualizado.

Capítulo 6,

las diferentes fuentes bibliográficas consultadas, para soportar la teoría y práctica de este trabajo.

Normalmente las opciones de solución para solventar un problema de automatización pueden ser muchas, al final se opta por una, según en el criterio del momento se vislumbra como la más viable y alcanzable.

1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sin duda, todo proceso de fabricación implica un reto para el personal que lo mantiene en marcha, viéndose obligados a manejar las diferentes variables dentro de estrechos márgenes, para asegurar una buena calidad de sus productos. El proceso de fabricación de papeles de escritura e impresión no es la excepción.

1.1. Preliminares.

Pondercel, la empresa papelera ubicada en el municipio de cd. Cuauhtémoc, inicio operaciones a principios de la década de los 90 en el siglo pasado. Desde sus inicios se ha dedicado a producir papeles blancos tipo bond, usados en escritura e impresión. Si se avanza rumbo al final del proceso de fabricación, se llega al punto dónde el papel ya cumple con las características de calidad adecuadas, a partir de este punto el papel, deberá pasar por dos procesos de transformación adicionales, para convertirlo en producto terminado, antes de enviarlo al cliente:

- a) Rebobinar el papel en forma de rollos, de diferentes anchos y diámetros, en este proceso se emplea una maquina cortadora y rebobinadora de rollos.
- b) El rollo que proviene de la rebobinadora es cortarlo y empaquetado en diferentes formatos (extendidos, carta, oficio, doble carta, entre otros). empleando máquinas cortadoras y envolvedoras de formatos pequeños y grandes.

Para obtener el papel con presentación final en rollos, esta industria cuenta en sus instalaciones con una máquina cortadora y rebobinadora pequeña de dos tambores, como se muestra de manera parcial en la figura 1.1, en esta imagen se observa un rollo de papel en proceso de embobinado, el rollo está apoyado sobre dos tambores giratorios, los tambores proveen la tracción del papel y en la parte superior apoyado sobre el rollo está el rodillo jinete, que ejerce presión sobre él rollo en formación.

Esta rebobinadora, tiene alrededor de 28 años de antigüedad y cumple dos funciones principales:

- a) Salvamento, recuperación de rollos siniestrados o con algún defecto de calidad.
- b) Procesar rollos para cliente interno o externo, dado un solo rollo de determinado ancho y diámetro la rebobinadora puede obtener varios rollos, con diferentes anchos y diámetros, conforme los requerimientos del cliente.

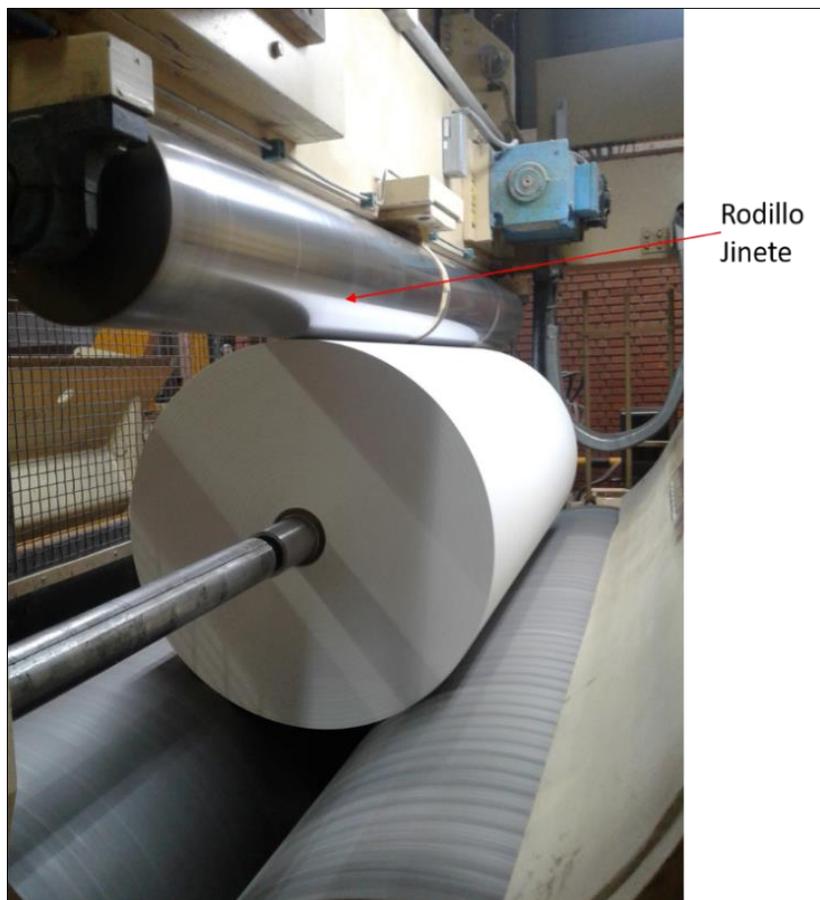


Figura.1.1 Cortadora y Rebobinadora de Dos Tambores.

1.2. Definición del Problema.

Por la antigüedad, los diferentes sistemas de control con los que fue equipada la máquina rebobinadora, están presentando fallas debido al desgaste y agotamiento de sus componentes, generando problemas al no cumplir con las cuotas de producción en tiempo y forma favoreciendo la insatisfacción del departamento de producción de la empresa, además, las áreas a cargo del mantenimiento de la máquina enfrentan el problema de no contar con las refacciones, para realizar la reparación o remplazo de componentes y equipos con falla, la falta de repuestos, principalmente ocurre porque muchas de ellas son obsoletas y no están disponibles en el mercado, en el supuesto de que se encuentren seguramente serán de alto costo económico, por ser piezas únicas y especiales.

La rebobinadora está presentando problemas en el control del rodillo jinete, el jinete tiene problemas de repetibilidad en su movimiento vertical y con su control de fuerza en automático, solo está disponible la opción de ajuste manual y este modo últimamente también presenta problemas, de variación en la carga del jinete o de movilidad, pero, es definitivo el control automático no funciona.

Las fallas que presenta el rodillo jinete han contribuido a que se presenten problemas de calidad en el embobinado de los rollos, el departamento de calidad reportó problemas de papel con memoria (curvatura) al final de los rollos, es importante atender esta problemática, debido a que el rodillo jinete es un elemento esencial para que la máquina produzca rollos con un buen embobinado. El problema se agravo al iniciar con fallas el ajuste manual de fuerza y los problemas de movilidad del rodillo, a su desplazamiento le falta repetibilidad.

El rodillo jinete tiene un sistema de control electrohidráulico, para aliviar el peso que este ejerce sobre el rollo en formación, además; este equipo provee al rodillo de movilidad vertical, por medio de dos cilindros hidráulicos que lo soportan, uno por cada extremo.

El control de fuerza(carga) del jinete puede trabajar:

- a) En modo manual, el operador realiza el ajuste de la fuerza del rodillo, modificando la presión hidráulica en los cilindros que lo soportan y variar la carga(fuerza) que ejerce sobre los rollos.
- b) En modo automático, existen tres posibles curvas de alivio seleccionables, que constituyen los correspondientes programas de alivio del rodillo jinete Programa 1, programa 2 y programa 3, para cubrir las diferentes necesidades, dados los diferentes anchos y diámetros de rollos que puede cortar la máquina. Se ampliará más adelante la información respecto a estos programas de alivio.

Como ya se mencionó el modo automático no está funcionando, el modo manual está en uso, pero ya presenta fallas, el modo manual precisa del buen conocimiento y experiencia del operador para obtener rollos con buen embobinado, este modo demanda mayor atención y cuidado del operador, para vigilar el comportamiento del rodillo y la formación del rollo en el lapso que dura el set, inhabilitándolo para atender otras actividades propias de su trabajo que pueden ser, preparación de rollos, reportes, llenado de formatos o control de inventarios.

Al presentarse una falla total del rodillo jinete, se detiene la producción, sin el jinete la bobinadora no está habilitada para producir rollos de calidad aceptable para los clientes, no tendrán la forma y la dureza adecuada.

El sistema de control del jinete no cuenta con refacciones y está discontinuado, por lo tanto, se propone actualizarlo por otro sistema que permita como mínimo, volver a las condiciones de trabajo que ofrecía, el equipo original instalado por el fabricante de esta máquina.

Se propone actualizar el control usando un PLC, que permita trabajar el control del rodillo en automático, que libere al operador, con refacciones, que ayude a producir rollos con buen embobinado y con la dureza adecuada.

1.3. Pregunta de Investigación.

Los rollos procesados en la máquina cortadora y bobinadora deben cumplir con los requerimientos del cliente, al salir las bobinas de la fábrica no termina ahí su historia, pues estos rollos serán sometidos a procesos posteriores en las instalaciones del cliente, es por ello, que los rollos deben tener buen embobinado, para que al des embobinarse no cause problemas con variaciones de tensión, papel rasgado, rollos deformes, centros colapsados, centros fuera de posición, papel flojo al inicio del rollo o demasiado apretado al final.

Para evitar trasladar problemas de calidad antes mencionados a sus clientes, el fabricante de los rollos debe medir y mantener bajo control muchas variables, que influyen en el papel y que contribuyen para obtener rollos de calidad en la máquina cortadora y bobinadora, no es el objetivo profundizar en estas variables, sin embargo, se hará mención de algunas de ellas, el calibre, peso base, humedad entre otras.

Los factores de calidad de los rollos o bobinas, que salen de la máquina cortadora y bobinadora, entre otros, el fabricante toma como referencia la dureza de los rollos, pues si los rollos no presentan defectos a la vista y cumplen con él parámetro de dureza, habrá mayor garantía de que los rollos que salen de la fábrica están bien embobinados. Tener en cuenta que la rebobinadora de Pondercel es versátil, puede embobinar rollos con diferente ancho y diámetro, por lo tanto, la máquina debe contar con sistemas de control que se adapten a cada circunstancia, para no demeritar la calidad y lo rollos tengan valores de dureza adecuados y uniformes.

Es por ello, que cabe abrir una interrogante, derivada del sistema de control que será implementado en la máquina cortadora y bobinadora en PONDERCEL.

Con el control de fuerza por PLC para el rodillo jinete, operando en automático. ¿será posible obtener uniformidad y consistencia en la dureza de los rollos que se embobinen, cumpliendo así con él parámetro de calidad, independiente de la dimensión de las bobinas?

1.4. Objetivos.

Se plantean los siguientes objetivos, que seguramente llevarán a solucionar el problema que se presenta en la máquina rebobinadora.

1.4.1. Objetivo General.

Realizar la actualización del sistema de control electrónico del rodillo jinete, que está instalado en la máquina cortadora y rebobinadora de rollos de papel en Pondercel, de manera que se tenga disponible un sistema de control confiable, que facilite la operación del rodillo y contribuya para procesar rollos de buena calidad.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- a) Habilitar el modo automático para controlar la carga del jinete utilizando un PLC y el control manual deberá ser opcional.
- b) Explorar atributos del nuevo control por PLC, que contribuyan a mejorar la dinámica del rodillo.
- c) Hay que considerar que el nuevo control de fuerza del rodillo jinete, tome en cuenta el ancho y el diámetro de los rollos, de modo que, al operar el control en automático se logre uniformidad en la dureza de los rollos, sin importar sus dimensiones.
- d) Implementar un control de posición y velocidad del rodillo jinete usando el valor medido de su posición con potenciómetro.
- e) Implementar un control de lazo cerrado de fuerza sin celdas de carga, ya que esta máquina no cuenta con ellas, se pretende calcular la fuerza que ejerce el rodillo jinete sobre los rollos, utilizando para los cálculos la medición de presión en los cilindros hidráulicos que elevan el rodillo.

1.5.Hipótesis.

En Pondercel se tiene instalada otra máquina cortadora y rebobinadora aparte de la que nos ocupa, en ella se tiene un rodillo jinete controlado por PLC y los rollos procesados en esta máquina, cumplen con los requisitos impuestos por el departamento de calidad, los rollos tienen un buen embobinado y la dureza adecuada.

La cortadora y bobinadora a la que se refiere este escrito y que constituye el caso de estudio, es más pequeña pero más versátil, puede embobinar rollos con diferente ancho y diámetro, a diferencia de la otra bobinadora cuyo ancho de rollos es fijo, esta versatilidad debe tomarse en cuenta al implementar el nuevo control del jinete.

La bobinadora de interés tiene fallas en el equipo electrónico que controla la dinámica del jinete, el control de carga se realiza en modo manual y con fallas, el modo automático no sirve, estos problemas causan mala calidad en el embobinado de los rollos.

Al actualizar el control con un PLC, será similar al que se tiene instalado en la otra bobinadora, por consecuencia, cabe esperar resultados similares en el comportamiento dinámico del rodillo y la calidad de los rollos.

Basados, en la experiencia y el comportamiento de la otra bobinadora, se puede afirmar, que en la bobinadora con falla una vez actualizado el sistema con un PLC y esté funcionado en automático el control de fuerza del rodillo jinete, independientemente del ancho y diámetro de los rollos procesados, los rollos si cumplirán con el valor medido de dureza solicitado por el departamento de calidad.

Se acude al departamento de calidad, para preguntar el valor de dureza que fijan como aceptable, en los rollos de papel que produce la máquina cortadora y rebobinadora. Personal de calidad define como aceptable, durezas superiores a 42.

Nota: Este valor es adimensional y se toma de la escala en % que tiene el dispositivo que utiliza calidad, para medir dureza en los rollos.

1.6. Justificación.

Los sistemas de control que involucran componentes electrónicos y en ocasiones combinados con software son muy dinámicos. La innovación y nuevos desarrollos tecnológicos llevan a que en pocos años queden obsoletos, sin refacciones disponibles, sin actualizaciones y sin el soporte adecuado por parte del fabricante y proveedor original. Esto ocurre también, porque el proveedor en su mejora continua ya ha migrado a otros modelos con otras tecnologías.

Cuando el propietario de la maquinaria enfrenta ese desfase tecnológico entre lo que tiene instalado y lo que ofrecen los diferentes fabricantes de sistemas de control. Con esa conciencia y conocimiento de la realidad, con el fin de evitar paros prolongados de producción, el propietario debe optar, por actualizar sus sistemas de control por nuevos equipos que le representen confiabilidad, menores costos de mantenimiento, bajos costos por refacciones, contar con el soporte técnico, entre otras ventajas.

El propietario de una máquina con problemas, quizá en primera instancia ve hacia el interior de su empresa, en busca de recursos humanos y tecnológicos que le provean soluciones. Si su capacidad de respuesta y solución se ve rebasada, inevitablemente; tendrá que buscar la solución con recursos humanos y/o tecnológicos en el exterior para solventar las fallas y contar con la máquina en sus mejores condiciones operativas.

Pondercel planta papelera, enfrenta el problema de obsolescencia en una de sus máquinas cortadora y rebobinadora. El control electrónico de su rodillo jinete dejó de operar correctamente, este equipo maneja el control de fuerza del jinete y lo hace en modo manual o automático. El modo automático emplea 3 diferentes programas, estos programas regulan la fuerza del rodillo conforme el rollo aumenta su diámetro, sin necesidad de la intervención del operador. La explicación anterior, sobre los programas de alivio automático 1,2 y 3 es teórica, porque en la práctica estos tres programas ninguno está disponible, ni habilitado para su uso, el Módulo Pu11R ya no los ejecuta, esta circunstancia ha sido así por muchos años, la única opción que está

operando es el modo manual y aún este modo ya presenta problemas de variación en las presiones y en los movimientos y velocidades del rodillo jinete. He ahí la necesidad de actualizar este control, para habilitar las funciones automáticas del rodillo.

También el departamento de calidad reporta problemas con la calidad del embobinado de los rollos que produce esta máquina. Reportan reclamación por parte del cliente, de papel con memoria (curvatura) al final del rollo. El rodillo jinete interviene directamente en el control de dureza de los rollos, la dureza es un factor importante para obtener rollos con buen embobinado. Es necesario, por lo tanto, actualizar el control electrónico del rodillo con un PLC, que permita mejorar su dinámica y opere en automático el control de fuerza sobre el rollo en formación, dejando el control manual de fuerza del rodillo, como opcional.

1.7. Limitaciones y Delimitaciones.

Dada la problemática presente en la máquina bobinadora, el departamento de mantenimiento ha planteado, que al menos, en la solución de las fallas que presenta el control del rodillo jinete, el personal interno del departamento de instrumentación y control, se haga cargo de realizar los trabajos, que lleven a la actualización tecnológica del sistema de control, utilizado en el manejo del rodillo jinete, bajo la premisa de utilizar o reutilizar los equipos y componentes actuales que se tengan en almacenes y/o talleres, con el fin de optimizar costos. Apoyarse si es necesario, en las otras especialidades de mantenimiento, mecánica (soldadura, lubricación), eléctrico-drives etc.

El proyecto, está limitado a realizarse con personal interno de Pondercel, utilizando recursos internos, sin embargo, como punto de comparación, se buscó en el mercado algún proveedor de controles para rodillos jinete. Se encontró en internet, el siguiente proveedor externo.

Control de rodillo jinete con fuerza directa y medición de posición, esquemático en la figura 1.2. El sistema (RRS), Rider Roll de Vishay Nobel, controla con precisión la fuerza del NIP lineal en cortadoras y bobinadoras, mide la fuerza y la posición directas de ambos cilindros hidráulicos del rodillo. Las celdas de carga de tensión de alta precisión proporcionan mediciones de fuerza exactas al micro-POS, que es el servo controlador de posición hidráulico. La retroalimentación del sensor de posición del cilindro cierra el lazo, permitiendo que el rodillo jinete mantenga una fuerza y velocidad óptimas a medida que el papel se alimenta a la bobinadora o cortadora (Vishay, 2012).

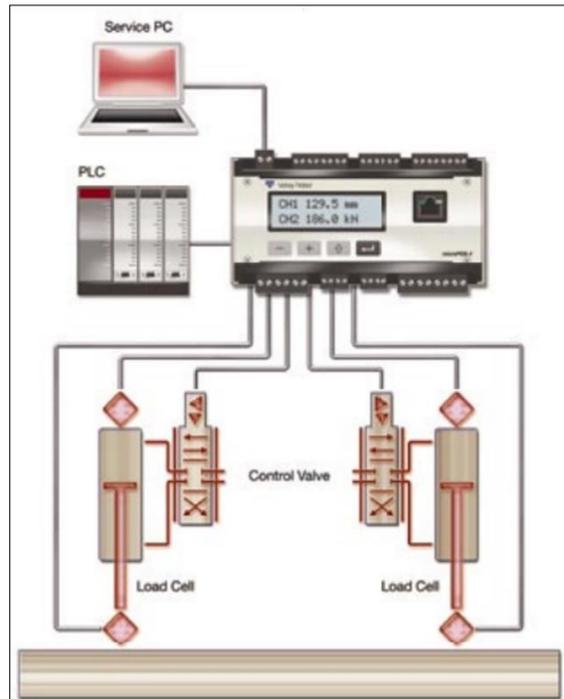


Figura.1.2 Sistema Comercial para Control del Jinete.

El sistema RRS da nueva vida a la maquinaria envejecida, proporciona muchos beneficios y ventajas:

- a. Prevenir la expulsión del rollo, con detección de vibración integral.
- b. Elimine defectos de rollos con un NIP preciso y repetible, el control de fuerza en cada corrida, con cualquier tipo de papel.
- c. Seleccione y cargue fácilmente curvas de fuerza conocidas, para diferentes calidades de papel. Aplicación carga los datos que controlan el NIP, la velocidad de operación y contacto "suave" entre el rodillo y el rollo de papel durante el empalme.
- d. Durante la fase de bobinado, la fuerza lineal NIP es mantenido a medida que aumenta el diámetro para asegurar la densidad perfecta en el rollo acabado.

- e. Los operadores pueden ingresar o alterar los parámetros de control dinámicamente, en el panel frontal del instrumento, o remotamente desde una PC o dispositivo PLC (Vishay, 2012).

El proveedor externo ofrece, servicio total al cliente, con alto nivel de experiencia en sistemas de control para rebobinadoras, incluyendo experiencia en todo el proceso de producción, así como en la instalación, mantenimiento y soporte técnico. Adaptaciones mecánicas a medida, diseño y cálculo de accesorios.

Se busco el costo de implementar un control, como el ofertado por un proveedor:

- a) Costo del equipo y materiales, celdas de carga, software, electroválvulas, dispositivos para medir posición, etc.
- b) Costo por modificaciones, adaptaciones, ajustes, pruebas y puesta a punto.
- c) Costo por asesoría técnica, capacitación, mantenimiento, etc.

No fue posible obtener costos, de la hipotética opción de actualización que ofrece este fabricante, pero sería realmente costoso para Pondercel, considerando que la rebobinadora no tiene celdas de carga (suelen ser costosas), sus cilindros hidráulicos no tienen sensores de posición, se dejarían sin uso equipos que tiene instalados la máquina y que se pueden aprovechar.

Además, con la actualización que se hará en Pondercel se igualarán, más del 90% de los beneficios que ofrece el equipo del proveedor externo.

En cuanto al costo, si se realiza la actualización por parte de personal de Pondercel (sería por experiencia, quizá una décima del costo que representa un proveedor externo), pues, se utilizarían equipos y materiales ya existentes, se reutilizarían muchos de los equipos que ya están instalados en la máquina, no se utilizarían celdas de carga, en vez de ello, se instalará un medidor de presión.

Insisto, esta búsqueda es solo con fines comparativos, para dimensionar alcances y el reto de realizar la actualización de manera interna.

2. MARCO TEÓRICO

Se expone enseguida, información de antecedentes relacionados con trabajos e investigaciones previas, información encontrada en literatura que trata del tema para sustentar con bases teóricas, la posible solución al problema planteado.

2.1. Antecedentes.

La misión principal de una rebobinadora es cortar y enrollar rollos originales de la máquina de papel a rollos para clientes, que cumplan los parámetros requeridos para obtener una buena impresión y conversión, la capacidad de ejecución es esencial. La calidad del rollo debe ser lo suficientemente buena, para soportar el estrés causado por desenrollar e imprimir. Además, de los procesos de conversión reales, el rollo también debe ser capaz de soportar el estrés del embalaje, almacenamiento y transporte (Hägglom , Komulainen, 2000).

Una rebobinadora de papel es una máquina que se utiliza en la industria del papel para producir rollos de clientes para impresión. Su sistema de automatización y control es una combinación de automatización de máquinas y automatización de procesos tradicionales. Las bobinadoras de papel modernas tienen muchos movimientos servo-controlados, que han reemplazado los movimientos simples, controlados por válvulas de control direccional.

La productividad de una máquina de papel puede aumentarse al reducir tiempos de inactividad o aumento de velocidad. En cambio, el rebobinado es un proceso por lotes y el papel en la bobinadora se detiene, durante el cambio de centros, cuando se retira un set de rollos de la bobinadora. Por lo tanto, la productividad de una bobinadora de papel puede mejorarse acelerando la máquina y sus movimientos servo controlados. Los valores de aceleración y desaceleración son importantes, porque la bobinadora se detiene y arranca continuamente. Una rebobinadora, es un componente crítico en el proceso de fabricación de papel y debe estar en condiciones óptimas, para evitar que el papel lo convierta en merma.

Un importante requisito de fiabilidad en una máquina de papel es el tiempo de inactividad que significa ese período de tiempo cuando la máquina no produce papel. El tiempo de inactividad incluye pausas planificadas y no planificadas en la producción. En una bobinadora de papel, también hay interrupciones en la producción durante la operación normal, una falla en la máquina de papel conduce muy pronto a una situación en la que las bobinadoras deben detenerse porque se han quedado sin papel. El rendimiento de fiabilidad describe la capacidad de una máquina para realizar ciertas tareas en ciertos momentos (Virtanen, 2006).

Diseñar una bobinadora de papel, es en gran medida un proceso interdisciplinario, requiere competencia de última generación en los campos de mecánica, hidráulica, neumática, electrónica, tecnología de papel, procesos de bobinado, ingeniería de control y servo control, diagnóstico de fallas, mantenimiento y programación de bajo y alto nivel (Virtanen, 2006).

En una bobinadora de dos tambores, la presión de carga de la bobina es la combinación del peso de los rollos y la carga del rodillo jinete. Al comienzo del bobinado, el peso del rollo de papel no es suficiente y el rodillo jinete define la carga del rollo, al final, el rodillo jinete está en muchos casos totalmente aliviado. Para aplicar la fuerza de bobinado deseada, en la bobinadora de dos tambores, también es posible ajustar el diferencial de par entre el tambor delantero o el segundo tambor y el tambor trasero que es también llamado primer tambor (Äärinen, 2006).

Solo en los EE. UU, se usan más de 100,000 enrolladores, estos van desde 40 a 400 pulgadas de ancho y 24 a 84 pulgadas en el diámetro de un rollo terminado. Bobinadoras que enrollan diversos materiales, incluidos textiles, gomas, acero, papel, no tejidos, Láminas, láminas, encimeras, papeles pintados y alfombras (Gronewold, 1998).

Se investiga en relación con patentes de sistemas de control utilizados para rodillo jinete.

United States Patent, Patent Num. 4,811,915, Mar. 14, 1989, R. Duane Smith

RIDER ROLL RELIEVING SYSTEM.

Un sistema de alivio del rodillo jinete, incluye un microprocesador para controlar la fuerza que el rodillo jinete aplica a un rollo de papel, que a su vez controla la densidad o dureza del rollo. El operador programa en el sistema la fuerza o carga deseada del rodillo jinete al inicio del embobinado y un diámetro inicial en el que el jinete comenzará el alivio. Además, la carga final en un segundo dato, se programa el diámetro en el que se debe finalizar el alivio en el sistema. El microprocesador proporciona entonces el alivio progresivo de la carga en función del diámetro del rollo, geometría y peso entre los dos diámetros preestablecidos para proporcionar la dureza deseada al rollo. La fuerza del rodillo jinete se mantiene constante hasta que el papel ha sido enrollado hasta el primer diámetro y luego ha obtenido el segundo diámetro. El sistema digital muestra el diámetro del rollo de bobinado y la fuerza del jinete durante la operación de bobinado (USA Patente nº 4,811,915, 1989).

United States Patent, Num.patente3,599,889, 17 agosto 1971, Jhon D. Pfeiffer

ELECTRONIC RIDER ROLL CONTROL SYSTEM.

Un sistema electrónico de control del rodillo jinete, para controlar el NIP de fuerzas entre el rollo de papel embobinándose y los tambores de la rebobinadora, decide el NIP actual por una señal eléctrica análoga como función del diámetro del rollo en proceso de bobinado, la geometría de la bobina y tambores de la cortadora, la densidad del papel, el ancho del rollo que se enrolla y la presión de alivio aplicada por el sistema de contrapeso del rodillo jinete. Un controlador compara el NIP real con el NIP deseado, determinado por un NIP de setpoint. El NIP inicial y la pendiente del NIP también pueden ser fácilmente controlada (USA Patente nº 3,599,889, 1971).

United States Patent, Núm. de patente 3,810,589, May 14, 1974, Jean M. Mousseau
PROCESS AND APPARATUS FOR WINDING SHEET MATERIAL

Se proporciona un aparato y proceso para proveer la densidad deseada y las características de consistencia en rollos de material húmedo, por ejemplo, rollos de papel periódico,

que se utiliza en operaciones posteriores como papel para impresión de noticias y dónde estas propiedades de los rollos deben coincidir con los requeridos durante la subsiguiente operación (CANADA Patente nº 3,810,589, 1974).

2.2. Bases Teóricas.

Información que sirve de apoyo teórico y da bases para solventar, la solución del problema planteado.

2.2.1. Proceso Papelero.

Desde que el hombre existe, ha deseado expresar sus recuerdos e ideas y ha hecho uso de una superficie donde plasmarlas. Al aparecer la escritura, el dibujo y el incremento en la cantidad de información motivó al ser humano a buscar un material especial para plasmar esos conocimientos. El aumento en la demanda debido a los libros y periódicos incentivó el desarrollo de las máquinas y los procesos para fabricar papel y surge el papel blanco fino para escritura e impresión. El papel blanco tiene un interesante proceso de fabricación, el cuál consta de 3 etapas principales y cada etapa a su vez se divide en procesos individuales, enseguida se describe cada una de estas etapas.

2.2.1.1. Etapa 1. Las Materias Primas.

La materia prima principal para fabricar papel es la pasta celulosa ya blanqueada, la pasta celulosa es fibra de origen vegetal, las fibras contienen diferentes químicos, los de mayor importancia son carbohidratos (celulosa y hemicelulosa), la celulosa es el

40% aproximado del total y es un hidrato de carbono que contiene esencialmente glucosa, una parte de la celulosa está en forma cristalina y la otra es amorfa pudiéndose hidratar. La Hemicelulosa contiene hasta 5 azúcares diferentes, tiene estructura de cadenas ramificadas cortas e hidrófilas, es afín al agua lo que favorece que las fibras se hinchen y se unan entre ellas, la hemicelulosa se refina con facilidad y da resistencia al papel. Otros componentes químicos de la celulosa son la lignina, resinas, taninos y material mineral (Pondercel, 2017).

Al fabricar papel, no es suficiente el empleo de mezclas de diferentes fibras vegetales, dependiendo el tipo de papel es necesario añadir productos no fibrosos para mejorar sus características y propiedades, por ejemplo, el caolín, carbonato de calcio, talco. Otros productos conocidos como pigmentos son aditivos de origen mineral y sirven para rellenar el espacio entre las fibras, mejoran la opacidad, la blancura del papel, aumentando la calidad de la impresión.

Los encolantes, se utilizan para ofrecer al papel resistencia a la penetración de los líquidos, consiguiendo un papel más impermeable al agua.

Los colorantes, básicamente son útiles para conseguir un papel con un color determinado y a su vez darle un matiz más agradable.

Los almidones, uno de los aditivos más empleados en la sección húmeda de la producción de papel es el almidón nativo o modificado, éste actúa reforzando las uniones entre fibras del papel incrementando su resistencia.

Además, como materias primas para fabricar papeles, se encuentran los productos auxiliares como son: agentes de blanqueo óptico, resinas, antiespumantes, microbicidas, retentivos, etc.

2.2.1.2. Etapa 2. Proceso Productivo.

La etapa 2, es el proceso productivo de fabricación del papel, este proceso se desarrolla en nueve pasos, donde el último paso consiste en la obtención de bobinas de papel para su venta al cliente, estos nueve pasos se detallan a continuación.

Paso 1. Desfibrado.

Es el proceso de humectación del material celulósico con el que se fabrica el papel, para convertir la pasta seca en suspensión fibrosa con la consistencia adecuada y facilitar su transporte por tuberías. Para el desfibrado se usan tinas de gran tamaño, con sistema de batido por aspas y adición de agua llamados pulper (Pondercel, 2017).

Paso 2. Depuración o limpieza gruesa y fina.

La función de estos equipos de limpieza es eliminar las impurezas y contaminantes mezclados con las fibras, en la figura 2.1 se observa una etapa de conos centrífugos, estos equipos son útiles para eliminar los contaminantes con mayor peso específico que la fibra, centrifugando la mezcla acuosa de fibra. Otros equipos ayudan a eliminar las impurezas por tamaño, haciendo uso de cedazos con las perforaciones del tamaño adecuado, para que sea posible rechazar las partículas de mayores dimensiones que las fibras celulósicas y se les conoce como cribas presurizadas debido a que en su operación normal lo hacen manteniendo valores de presión controlada, que garantizan el flujo adecuado de la mezcla fibrosa, para evitar que se tapen los cedazos, una criba presurizada se muestra en la figura 2.2.



Figura.2.1 Etapa de Conos Centrífugos.



Figura.2.2 Criba Presurizada.

Paso 3. Refinación.

Es el proceso mediante el cual se desarrollan las fibras celulósicas, desuniéndolas, machacándolas y cortándolas para facilitar su unión al momento de laminar la hoja y mejorar su resistencia.

Se hace uso de un refinador como la figura 2.4, que consta de un motor eléctrico para hacer girar las cuchillas de corte, que pueden ser del tipo cónicas o planas, por lo general es un cono fijo y el otro móvil, estos se observan en la figura 2.3, el refinador tiene un mecanismo de carga para acercar el cono móvil lo más posible al cono fijo y reducir el espacio entre los dos conos, por este pequeño espacio de influencia de las cuchillas se hace pasar la mezcla fibrosa, en tanto los conos se encuentran girando, las fibras en su paso forzado entre las cuchillas se desarrollan, se desfibrilan, se desunen, esto facilitará su unión y entrelazamiento posterior.

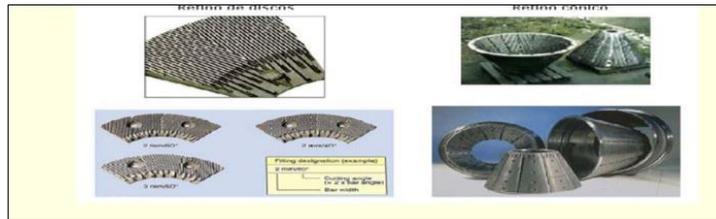


Figura.2.3 Cuchillas para el Proceso de Refinación.



Figura.2.4 Refinador Electromecánico.

Paso 4. Formación.

La suspensión fibrosa con baja consistencia es drenada sobre una malla sintética instalada en la mesa de formación, punto dónde inicia el laminado y formación de la hoja de papel a un ancho que permita el diseño de la máquina papelera.

Paso 5. Prensado.

Es un paso en el cual se elimina el agua contenida en la hoja, en forma mecánica, ejerciendo presión sobre la hoja, al pasar entre dos rodillos (prensa).

Paso 6. Secado.

Consiste en la eliminación de agua de la hoja de papel por medios térmicos, usando cilindros secadores que se calientan con vapor.

Paso 7. Calandrado.

Previo al enrollado final, se hace pasar el papel a través de dos rodillos que forman una prensa controlada, con el fin principal de obtener un perfil de calibre uniforme a todo lo ancho de la hoja y mejorar sus características de lisura.

Paso 8. Enrollado.

Consiste en enrollar la hoja de papel lo más uniforme posible de principio a fin, para evitar sobrantes. La hoja se enrolla sobre un centro rígido con el fin de tener continuidad, en el proceso de fabricación, obteniendo el papel en bobinas la denominada bobina madre (Pondercel, 2017).

En la figura 2.5, se observan los pasos para laminar la hoja desde el paso 4 al 8 explicados previamente. En el proceso de formación de la hoja se pretende, que en su recorrido la hoja vaya perdiendo agua. En la primera fase escurre el agua por decantación, luego se extrae por presión al pasar la hoja por rodillos prensa y finalmente por calor al hacer contacto la hoja, con las superficies de los cilindros, al fluir la hoja entre ellos, los cilindros son calentados usando vapor. La hoja con las características adecuadas de humedad, peso, espesor, entre otras, se arrolla en una flecha para formar una bobina del ancho de la máquina laminadora.

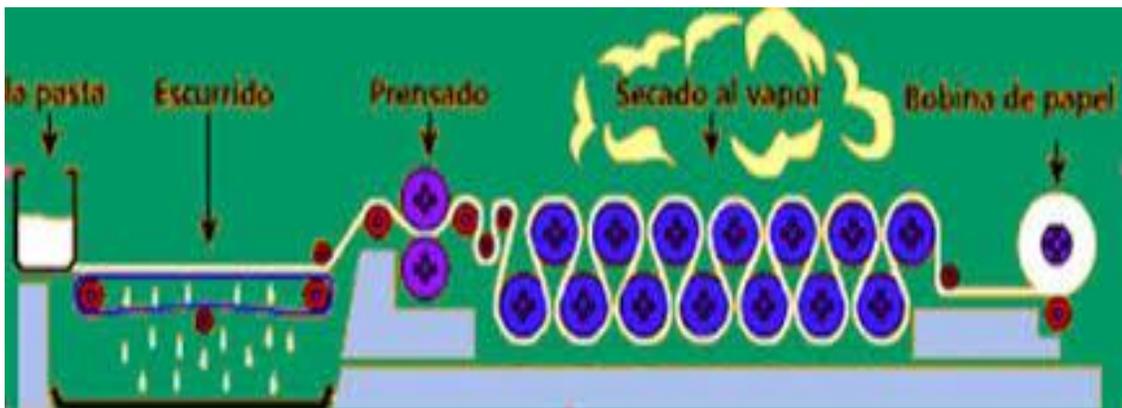


Figura.2.5 Proceso de Laminación del Papel.

Paso 9. Corte y bobinado del papel en rollos pequeños.

Con el empleo de máquinas cortadoras y rebobinadoras (se muestra en la figura 2.6 una máquina cortadora típica). La bobina madre, se transforma en rollos pequeños (rollos hijo), de acuerdo con las necesidades del cliente, quién demanda rollos con un ancho y diámetro específico.



Figura.2.6 Máquina Bobinadora de Rollos de Papel.

En las máquinas bobinadoras se lleva a cabo el corte del ancho, así como el ajuste del diámetro de las bobinas, solicitadas por los clientes. Las bobinas deben estar enrolladas perfectamente, deben presentar una estructura compacta, sin defectos a la vista. Antes de ser enviado al cliente, el papel en bobina es cubierto completamente con papel Kraft, que sirve como cubierta de protección ante los factores ambientales.

2.2.1.3.Etapa 3. Papel como Producto Terminado.

Los rollos de papel que salen de las bobinadoras pueden constituir un producto terminado como rollo o continuar el proceso para cortarlos en formatos extendidos pequeños o grandes.

Para procesar los papeles cortados, las bobinas de papel se llevan a las máquinas cortadoras de formatos pequeños o las cortadoras de extendidos o formatos grandes. El papel es cortado, en hojas de diferentes formatos pequeños (carta, oficio, doble carta, A3, A4, oficio americano, legal, etc.) y formatos grandes extendidos tamaño rotafolio y para planos, en diversas medidas (Pondercel, 2017).

El papel como producto terminado, debe cumplir con ciertas características físicas de calidad, para que sea un producto vendible y cubra las expectativas de los usuarios de dicho papel. Factores de calidad como la blancura, calibre, opacidad, resistencia, lisura, brillo, color, curvatura, gramaje, entre otros.

La blancura se define así, si el papel refleja todas las radiaciones (colores) en la misma proporción se aprecia de color blanco, los pigmentos y aditivos favorecen la blancura.

El calibre (espesor), el proceso de calandrado disminuye el espesor del papel y le da uniformidad en todo lo ancho de la hoja.

La opacidad del papel depende de la cantidad de luz que lo atraviesa, un papel de alta opacidad lo atraviesa poca cantidad de luz, útil para que lo escrito en una cara del papel no se refleje a la otra cara.

La resistencia, es una de las principales propiedades del papel, el papel tiene diferentes tipos de resistencia.

Resistencia mecánica, es la capacidad del papel de resistir físicamente una carga. La resiliencia, es la capacidad que tiene el papel de recuperar su forma original luego de ser deformado. La estabilidad dimensional, un papel es estable cuando mantiene su forma original aun cuándo varían las condiciones ambientales como el calor y la humedad. La durabilidad, es la capacidad del papel para resistir el uso continuo y prolongado.

La lisura, es importante al momento de imprimir sobre el papel y es uno de los objetivos que se buscan en el calandrado, a mayor lisura mayor brillo y absorción de tintas.

El brillo, depende de la cantidad de luz que refleja el papel, a mayor cantidad de luz reflejada mayor será el brillo superficial.

El color, si el papel solo refleja radiaciones de un color determinado es decir absorbe las demás, se verá el papel de ese mismo color.

La curvatura (curl), la curvatura del papel se produce por numerosos factores como, humedad relativa, peso del papel, tamaño del papel, caras impresas o cantidad de imágenes. Demasiada curvatura del papel puede causar atascos o problemas de calidad del apilado.

Gramajes (peso en gramos de los diferentes papeles), el peso por unidad de área es una característica muy importante del papel. El gramaje se expresa en (g/m^2). En la tabla 2.1, se muestran los diferentes gramajes (g/m^2). en que pueden estar fabricados los papeles bond blancos de escritura e impresión.

Tabla.2.1 Tipos de Papeles Blancos.

TIPO DE PAPEL	PESO BASE
Opaco, poroso, folio clásico	60, 65, 68, 75, 90, 105 gramos
offset	75 gramos
Ink. Tinta y laser	90 gramos
Cartulina	180 y 120 gramos

2.2.2.Máquinas Bobinadoras.

En la mayor parte de las industrias de la actualidad, existe la necesidad de modernizar su maquinaria y automatizar sus procesos. Contar con equipos que ofrezcan mayor rendimiento a menor costo de mantenimiento y procesos de manufactura menos dependientes del ser humano.

La industria de fabricación del papel, en los eslabones finales de su proceso productivo, está el proceso de corte y bobinado del papel que convierte la bobina madre en rollos más pequeños y manejables. La máquina bobinadora, cuya función es tomar la bobina de papel que sale de la máquina laminadora, identificada como bobina madre y procesarla para obtener nuevas bobinas (rollos hijo) con diferentes medidas de largo, diámetro externo e interno, ancho y dureza apropiados que cubran las necesidades y requerimientos del cliente.

2.2.2.1. Tipos de Máquinas Bobinadoras.

Básicamente existen dos tipos de bobinadoras:

- a) Con bobinado individual que tienen un solo tambor central.
- b) La bobinadora de dos tambores (tipo de bobinadora a la que hace referencia el presente trabajo).

Las bobinadoras de un solo tambor son las más sencillas, este tipo de máquina se observa en la figura 2.7. Estas utilizan la tensión de la hoja y el nip debido a la cantidad de envoltura, que normalmente está alrededor, del tambor accionado para el enrollado, la tensión de la hoja se aísla del rodillo de enrollamiento. En materiales duros no extensibles (papel, laminados), la tensión de la hoja tiene poco efecto en la dureza del rollo. Básicamente la dureza del rollo se ve afectada solo por el control de la presión de compresión en el nip. En productos extensibles como películas y telas no tejidas, la dureza del rollo se controla a través de la tensión de la banda y el estrechamiento.

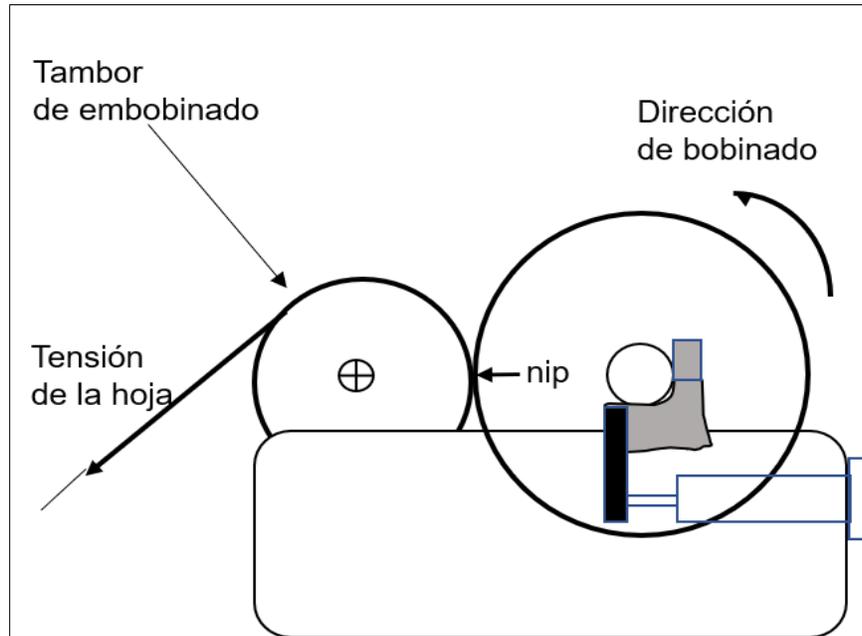


Figura.2.7 Bobinadora de un Solo Tambor.

La ventaja de este tipo de bobinadora de superficie es que el peso del rollo no afecta la cantidad de carga de pellizco. La desventaja es que el bobinador de superficie de un solo tambor tiene un control limitado de la densidad del rollo.

Las bobinadoras de superficie de dos tambores se utilizan normalmente, para operaciones de corte y bobinado con ciclos (set) de arranque y paro. Estas bobinadoras utilizan los tres principios para el máximo control de la dureza del rollo. Esto se refiere a la tensión de la hoja, el nip de contacto entre el rollo en formación y los dos tambores y el control de torque de los tambores, observe para clarificar más estos principios en la figura 2.8.

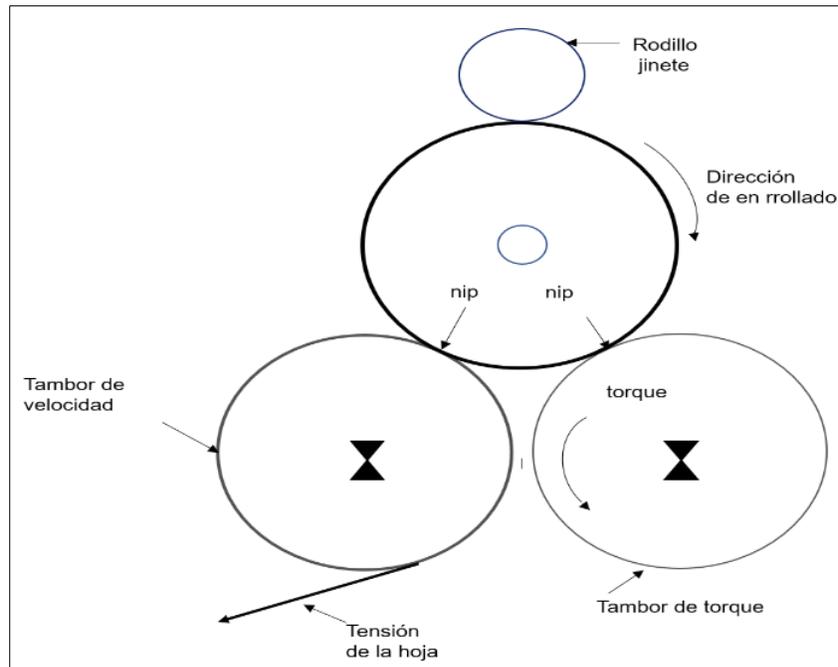


Figura.2.8 Geometría de la Bobinadora de Dos Tambores.

La cortadora de dos tambores es un tipo de enrollador, que normalmente tiene una envoltura suficiente en el tambor, por lo que la tensión de la banda de papel tiene poco efecto en la dureza del rollo. La dureza y el perfil del rollo se logran mediante el control del nip programado de la presión del rodillo jinete y el control de par programado para el tambor de torsión. Hoy en día, estas bobinadoras normalmente funcionan sin eje (utilizan centros de cartón huecos de diferentes diámetros, ejemplo 3, 6 pulgadas), son de alta velocidad y muy productivas. La desventaja es que este tipo de enrollador generalmente construye rollos duros a medida que el peso del rollo en proceso aumenta su diámetro, esto requiere una alta presión del rodillo jinete al inicio, que se libera proporcionalmente al peso del rollo en proceso a medida que aumenta su diámetro. El control de par programado es también una manera efectiva para controlar la dureza del rollo, que también requiere una presión fuerte para transmitir el par al rollo al inicio del embobinado.

Las bobinadoras de superficie de dos tambores se utilizan como bobinadoras cortadoras de alta velocidad, para un embobinado con buena densidad de rollos tales como papel no tejido o papel más pesado, cartón o calidades de laminado que pueden tolerar ser enrolladas con fuerza (Good, Roisum, 2008).

2.2.2.2. Secciones Principales en una Bobinadora.

Este tipo de bobinadora era la más común después aparecieron las bobinadoras con bobinado individual. En la figura 2.9, se puede observar en esquema general, la distribución y procesos que constituyen una máquina bobinadora de dos tambores (Aärinen, 2006).

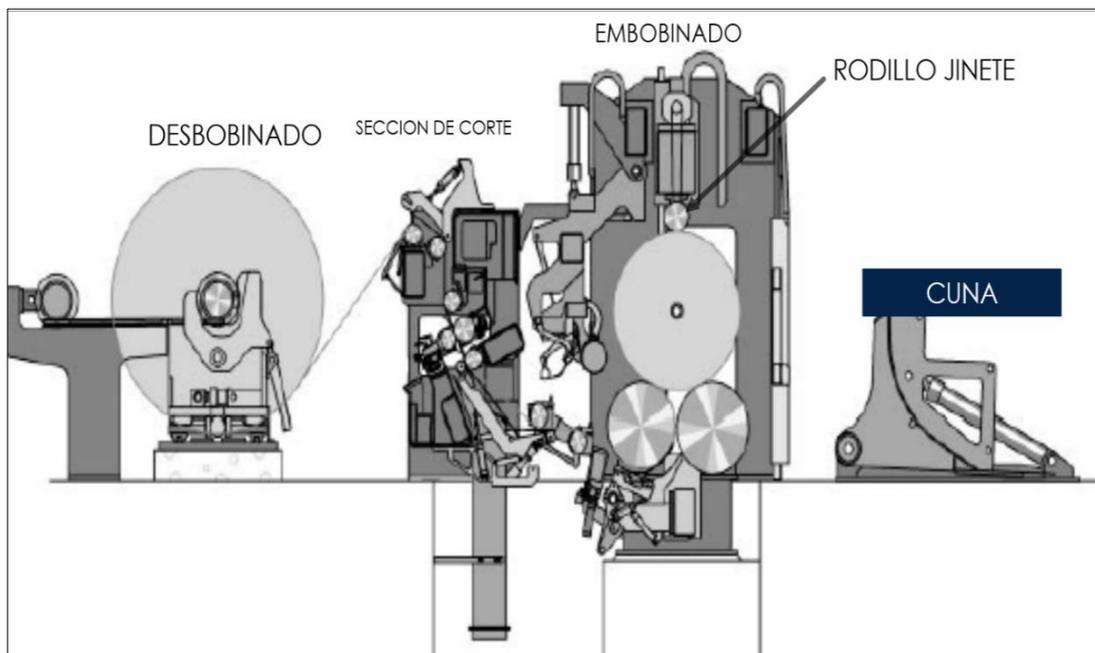


Figura.2.9 Vista General Máquina Bobinadora de Dos Tambores.

Descripción de las etapas o procesos, de la máquina de bobinado de la figura 2.9. Viendo la máquina conforme el recorrido que hace el papel, está cuenta con una serie de rodillos y motores, para mantener el papel perfectamente estirado y sujeto a tensión constante, durante todo el proceso de bobinado para que los rollos finales sean compactos y libres de arrugas en todo su contenido (Aärinen, 2006).

Las secciones que se pueden destacar son las siguientes:

a) Sección del desbobinador.

Consiste en los soportes o sujetadores de la bobina madre y el sistema de frenado que ayuda a generar la tensión necesaria en la banda de papel. La bobina madre que alimenta a la rebobinadora, se encuentra formada sobre un eje sólido o centro hueco de cartón, el cual se acopla al sistema de frenado del rollo, el sistema de frenado, pueden ser motores o un freno de balata y el acoplamiento al eje de la bobina madre. En el caso de los motores son accionados por drives electrónicos que regulan su velocidad, para obtener y mantener la consigna de tensión en la hoja de papel, los frenos de balata normalmente son accionados por servos neumáticos o hidráulicos.

b) Sección de cuchillas de corte longitudinal.

Son cuchillas circulares que conforme avanza el papel hacia la sección de embobinado, realizan en la hoja un corte longitudinal. Las cuchillas se posicionan a una distancia una de la otra, dependiendo del ancho de los rollos que se deseen cortar, la máquina puede contar con varias cuchillas y depende del ancho de la hoja que puede manejar, ejemplo: 9 cuchillas para un máximo de 8 rollos por set.

El rodillo de entrada recibe la hoja directamente de la bobina madre, su altura es modificable y se utiliza para compensar algún desbalance en la tensión a lo ancho de la banda de papel. El rodillo antes de las cuchillas dirige el papel hacia las cuchillas. El rodillo a continuación de las cuchillas se utiliza junto con

el rodillo previo para mantener el papel horizontal durante su paso por las cuchillas, además, contiene la celda de carga que provee la señal de tensión en la hoja, señal utilizada por el sistema de control en el des bobinador.

c) Sección de separación de cortes.

Esta sección es importante para evitar que el papel de dos rollos contiguos se traslape y como consecuencia estos dos rollos se peguen y en ocasiones es imposible separarlos, generándose desperdicios y merma. Esta sección consiste en rodillos curvos o barras extendedoras, para mantener durante la corrida la separación del papel en el corte longitudinal. El rodillo esparcidor, cuyo eje tiene una determinada curvatura, se utiliza para hacer que la hoja de papel no forme arrugas y se mantenga alineada en su trayectoria y evitar traslapes de la hoja en el punto de corte longitudinal ocasionando que dos rollos en formación uno enseguida del otro, se peguen.

d) Zona de embobinado.

Consiste en dos tambores, tambor frontal (FD) y trasero (RD); que se encargan del tiro del papel y de formar la nueva bobina. Los motores de tiro aplican el torque requerido por los tambores frontal y trasero. En el arranque del equipo el motor del tambor frontal está programado para proveer entre el 80-60%, del torque requerido, aumentando la tensión del bobinado en las primeras vueltas donde es necesario crear mayor presión sobre el núcleo. Una vez que la bobina tiene alrededor de 15 o 20 pulgadas de diámetro, ambos motores reparten la carga en partes iguales.

El rodillo jinete (rodillo montante), se encarga de aplicar una fuerza (carga) sobre la bobina que se está formando, para mantenerla sobre los tambores de tiro y crear una tensión adicional. Una vez que la bobina posee unas 25 pulgadas de diámetro, la carga aplicada por él rodillo va disminuyendo progresivamente, ya que el peso de la bobina la hace innecesaria; a partir de este momento el rodillo jinete solo actúa como un elemento de seguridad.

Los sujetos centros, sujetan los centros de cartón (huecos) sobre los que se enrolla la nueva bobina, son dos y sujetan los centros por ambos lados, evitan que tengan desplazamientos laterales y pierdan la alineación con el borde del papel. Conforme crece el diámetro del rollo tienen movimiento ascendente y acompañan al rollo durante todo su proceso.

e) Sección de expulsión de rollos y cuna para extraerlos de la máquina.

El rodillo pateador empuja los rollos que están sobre los tambores al interior de la cuna, la cuna se utiliza para bajar con seguridad los rollos en cada una de las paradas de la rebobinadora.

En general, se han descrito las secciones principales de una cortadora y rebobinadora de rollos de papel.

2.2.2.3. Proceso de Bobinado.

Las bobinas que produce una máquina rebobinadora deben estar enrolladas perfectamente, de tal manera, que presenten una estructura compacta, sin mostrar deformaciones en su enrollado. En la figura. 2.10, se ve el contraste en la cara lateral de dos rollos, para notar la diferencia a la vista, en la uniformidad de un rollo con un buen embobinado y uno defectuoso (Univ. Guadalajara, 1997).

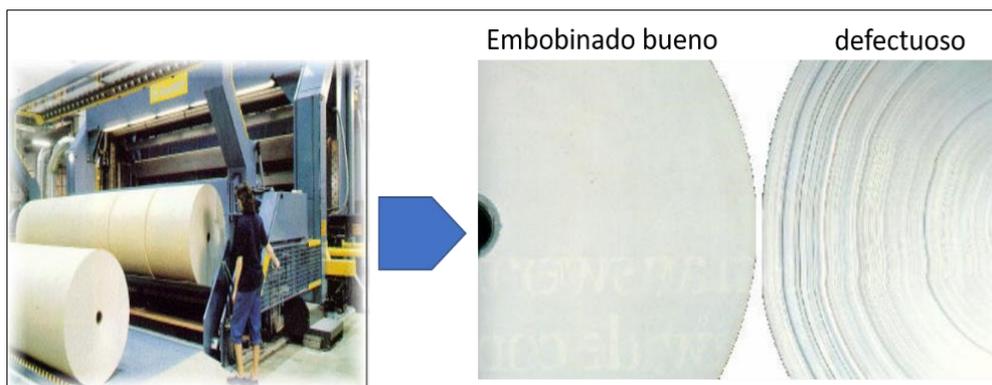


Figura.2.10 Ejemplo de un Buen Embobinado.

La bobina se enrolla en un tubo de cartón hueco, como los de la figura 2.11, los tubos se ven apilados y listos para su uso, también llamados centros o almas de cartón tienen una pared gruesa y se cortan a una longitud igual al ancho de la bobina de papel.



Figura.2.11 Centros de Cartón en el Embobinado de Rollos.

El corte longitudinal del papel se realiza por medio de cuchillas giratorias. El corte realizado en los dos extremos de la bobina madre genera una o dos tiras de papel de una o más pulgadas de ancho, a estas tiras se les conoce como refiles y se aprovechan como reciclado al reintegrarlos nuevamente al proceso de elaboración del papel, enviando el refil o los refiles a un pulper para rehidratarlos con agua y batirlos.

Las rebobinadoras son diseñadas generalmente para algún tipo de papel y estas máquinas deben correr a una velocidad mucho mayor, que la de la máquina que fabrica el papel, dos o tres veces mayor, la razón es que el desenrollado de la "bobina madre" de la cual se formarán una serie de bobinas exige parar y arrancar varias veces la bobinadora, es decir cambios de set, además de cada parada, se deben efectuar uniones o cambiar cuchillas y cambio de medidas.

En la bobinadora, el papel puede ser cortado a un determinado ancho, fijando las cuchillas a las distancias requeridas, para obtener el ancho de bobina de acuerdo con las necesidades del cliente (Univ. Guadalajara, 1997).

Para lograr un buen embobinado, es de suma importancia que el des embobinado de la bobina madre, sea realizado de acuerdo con las condiciones físicas del papel, ya sea porque este es delgado o aun no siéndolo su resistencia no sea la adecuada o la suficiente y la lámina se rasgue o se rompa, esto requiere un buen control en la tensión. Para el control de tensión de la hoja y efectuar paradas de emergencia se utilizan motores eléctricos y un freno mecánico, el control de velocidad automático suministra eléctricamente el reajuste de la velocidad a medida que el diámetro del rollo des embobinado disminuye, es un elemento automático que reemplaza con eficiencia al operario, pues un inapropiado control de tensión puede ocasionar problemas de embobinado, tales como corte deficiente, corte ondulado, centros flojos, etc.

Un elemento importante de la rebobinadora es el rodillo jinete, en la figura 2.12, se observa el rodillo jinete apoyado sobre la parte superior del rollo, que se encuentra sobre los dos tambores.

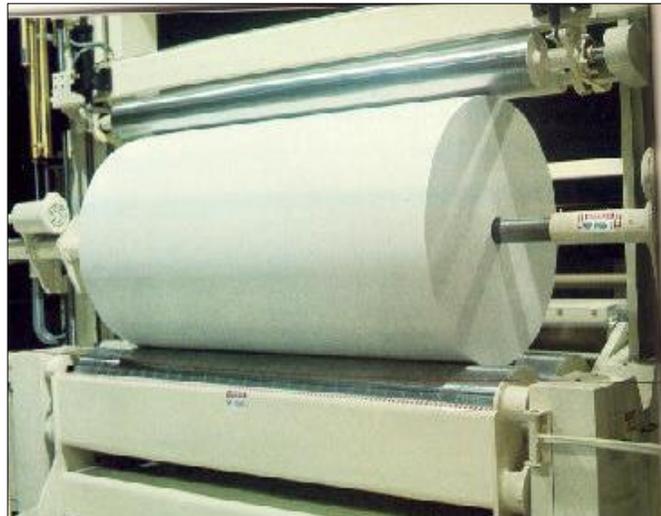


Figura.2.12 Rodillo Jinete en Bobinadora de Dos Tambores.

El inicio del embobinado se hace en un centro de cartón, en el arranque se crean fuerzas de una magnitud tal, siendo necesario que el rodillo jinete figura 2.12, presione el papel a embobinar contra los tambores bobinadores, para evitar que se proyecten los centros y al mismo tiempo se produzca un embobinado adecuado.

Tambores de embobinado, en el hueco que se forma entre estos dos rodillos se coloca el centro de cartón y sobre este se enrolla el papel ya cortado, su buen funcionamiento es importante en el proceso, ya que de su operación eficaz depende en gran medida un buen embobinado.

Durante el embobinado puede ocurrir que se rompa la hoja o que en el rollo madre se tengan roturas de la hoja, heredadas de la máquina de papel. En cualquiera de los casos de rotura la bobinadora debe pararse, para realizar la unión o pegado de la hoja por medio de una cinta especial. Cuando la rotura de hoja a ocurrido en la máquina de papel esta viene señalada con una marca, para prevenir al operario que debe parar la bobinadora para efectuar la unión.

Cuando la bobina (rollo) sale de la rebobinadora, es revisada por el inspector de control de calidad, si la bobina es aceptada se empaca e identifica. Para empacarla se utiliza papel kraft el cual es enrollado en la bobina y en los extremos se pone una tapa redondeada de cartón o papel grueso, ahora la bobina está lista para enviarse al cliente. Un rollo envuelto en Kraft, con sus tapas laterales y sus rótulos de identificación, se observa en la figura 2.13 (Univ. Guadalajara, 1997).



Figura.2.13 Presentación Final de un Rollo.

2.2.2.4. Características de Rollos de Buena Calidad.

Cada fabricante de rollos de papel enfrenta el reto de enrollar bobinas de calidad, debe cuidar la tensión en la hoja para producir rollos de buena calidad, normalmente se busca que la tensión se mantenga constante durante el proceso de embobinado.

Si los papeles a embobinar fueran perfectos, las posibilidades de obtener rollos de buena calidad aumentan en gran manera. El reto de la operación de bobinado es enrollar papeles que traen ligeras imperfecciones y se pretende que estas imperfecciones leves no se resalten en apariencia y no se amplifiquen durante el proceso, será responsabilidad del operador de la rebobinadora, asegurarse de que el proceso de embobinado no produzca variaciones adicionales en la calidad del producto, el reto final, es enrollar un producto de papel con imperfecciones y producir rollos de alta calidad que funcionen bien en el proceso de sus clientes.

2.2.2.4.1. Como se Define un Rollo de calidad.

El reto es obtener rollos de calidad, pero, que es buena calidad para nuestros clientes, por ejemplo, un panadero le aconsejará qué para complacer a sus clientes debe producir rollos que tengan la forma y el tamaño correcto, la consistencia adecuada no demasiado duros o muy blandos, deben verse bien, sin manchas ni defectos visuales y tener un buen aroma. En general las bobinas de papel deben cumplir con:

- a) La forma y tamaño correcto.
- b) Sin defectos a la vista.
- c) La consistencia adecuada, no demasiado duro o blando.
- d) Deben verse bien y sin aromas extraños.
- e) El ancho, diámetro y longitud correctos.

Los clientes exigen rollos que puedan trabajar sin problemas, la mayoría dirá qué si una bobina se ve y se palpa bien, entonces funcionará bien.

2.2.2.4.2. Importancia de la Dureza de los Rollos.

La dureza de la bobina, es quizá el factor más importante que determina la diferencia entre un rollo bueno y uno malo, las bobinas que se enrollan demasiado blandas tendrán deslizamiento de sus capas cuando se desenrollan con tensiones más altas, estos deslizamientos causarán defectos en el rollo, este puede estrellarse y/o hacerse telescopio, a menos que se desenrollen con tensiones muy bajas, los rollos que se enrollan demasiado blandos, también pueden perder su redondeo al enrollarse o se deformarán cuando se manipulen o almacenen. Cuando se desenrolla un rollo blando cada revolución producirá una onda de tensión apretada y floja, estas variaciones de tensión pueden causar problemas en los procesos, a los que se destinará la bobina, para minimizar los efectos de estas variaciones en la tensión, es correr el proceso a velocidad mucho más baja, afectando los montos de producción.

Las bobinas que se enrollan muy apretadas también causarán problemas, estas bobinas muy apretadas tienen una alta tensión interna, se pueden partir como una sandía cuando se caen o se sujetan con un montacarga para su manejo. La banda de papel se estirará y se deformará a medida que se alivien estas tensiones durante el almacenamiento. Si la tensión interna aumenta demasiado pueden presentarse explosiones dentro del rollo. En la figura 2.14, se observa una explosión del papel en un rollo. Estas ráfagas de tensión normalmente están ocultas y no son detectadas hasta que la bobina se desenrolla, estas ráfagas causan roturas en la hoja provocando pérdidas de tiempo y dinero en los procesos del cliente.

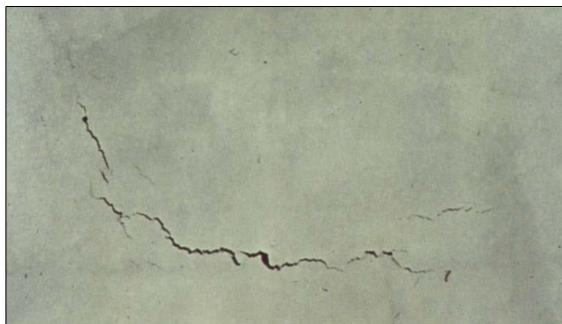


Figura.2.14 Ráfaga de Tensión, de Máquina Cruzada.

Las bobinas que se enrollan demasiado apretadas resaltarán los defectos del papel, ningún papel es perfectamente plano o tiene el mismo espesor a todo lo ancho, normalmente, el papel tendrá áreas altas y bajas en el perfil transversal, la banda de papel puede ser más gruesa o delgada. Si las bobinas se enrollan demasiado fuerte, la banda se extenderá sobre estas áreas más gruesas y causará bultos o cimas como muestra la figura 2.15, a medida que el papel se extiende sobre estas cimas se deforma en estas áreas ocasionando áreas sin tensión en la hoja y se producen "áreas holgadas" cuando la bobina se desenrolla, observe este defecto en la figura 2.16. También puede haber rayas dónde la humedad de la hoja es mayor, estas bandas de humedad causan defectos en la hoja denominados ondulaciones o marcas de cuerda en bobinas que están demasiado apretadas, las ondulaciones por bandas de humedad se muestran en la figura 2.17, los bordes y corrugaciones causan problemas, como deficiencias en los procesos de impresión.



Figura.2.15 Muestra de Papel con Bultos o Cimas.



Figura.2.16 Papel con Áreas Holgadas o Canales.

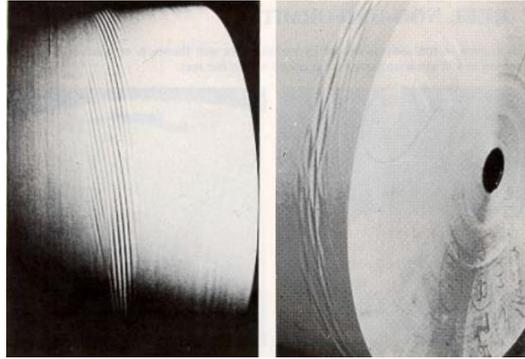


Figura.2.17 Defectos Causados por Bandas de Humedad.

Defectos leves no se notarán en una bobina, si se enrolla suficiente aire en las áreas bajas o húmedas y la banda de papel no se estira demasiado sobre las áreas altas. Sin embargo, las bobinas tienen que enrollarse con la suficiente fuerza para que sean redondas y se mantengan así durante el transporte y el almacenamiento.

A veces ocurre que bandas de papel, según su proceso de formación, tienen variaciones cruzadas de espesor o humedad muy severas para ser enrolladas sin resaltar estos defectos. Para minimizar esto, estas bandas de papel se mueven lateralmente en la máquina bobinadora antes de ser cortadas, esta acción se le denomina oscilación, distribuyendo de forma aleatoria estos defectos. En una bobinadora el desenrollado normalmente se oscila, la oscilación puede ser a una velocidad constante, una parada y una velocidad constante hacia atrás o una curva de velocidad de onda sinusoidal, lo importante es que la velocidad de oscilación sea lo suficientemente rápida, para distribuir los defectos en forma aleatoria y lo suficientemente lenta para no forzar o arrugar la banda y que los rollos después de ser cortados se enrollen con bordes rectos, para mejores resultados, la velocidad debe variar proporcional a la velocidad de bobinado.

2.2.2.4.3.Cómo Obtener la Dureza de las Bobinas.

La dureza del rollo es importante, cuando una banda de papel se enrolla la tensión se acumula dentro del rollo, lo que se conoce como tensión enrollada o tensión residual. Si estas tensiones aumentan conforme se enrolla la bobina, las vueltas internas cercanas al núcleo se aflojarán, se evita si las bobinas se enrrollan con fuerza cercano al núcleo y luego con menos fuerza a medida que el rollo aumenta de diámetro, cuanto más grandes sean los diámetros de la bobina, más crítico será el perfil de dureza del rollo.

2.2.2.4.4.Medición de Dureza de las Bobinas.

La tensión de la hoja, el alivio del rodillo jinete para el pellizco del nip del tambor y el control del torque de los tambores, son útiles para producir la dureza deseada del rollo y varían dependiendo del tipo y diseño de la bobinadora (en nuestro caso dos tambores) y el tipo de la banda de papel que se está enrollando, el ancho de los rollos. Diferentes productos de papel y sus diferentes aplicaciones, determinarán la dureza deseada, esta deberá medirse y reproducirse de manera consistente.

La necesidad de medir la dureza es porque los rollos irregulares y otros defectos tales como corrugaciones y telescopios son causados por perfiles de dureza de rollos de papel no uniformes, que son una causa importante de pérdida de producción tanto para los productores como para los convertidores. Una medición confiable del perfil de dureza del rollo es de importancia crítica para decidir si un rollo es bueno o malo. El personal de producción necesita poder realizar pruebas de forma rápida y confiable e interpretar los resultados de la manera más eficiente posible. Este tipo de prueba se puede realizar en todo tipo de materiales laminados, como papel, películas y papel de aluminio (PCTE, 2020).

Algunas herramientas de medición son manuales, Así que el operador puede verificar la dureza del rollo y hacer los ajustes para asegurar que la dureza sea aceptable.

Para medir dureza a través de la superficie exterior del rollo, se puede usar un Rhometer o un PAROtester, ambos instrumentos se basan en impacto para medir la dureza relativa del rollo en una escala relativa. El Rhometer mide la desaceleración máxima de un pequeño martillo cuando golpea la superficie exterior del rollo. Este aparato se presenta en la figura 2.18.



Figura.2.18 Medidor de Dureza de Rollos, Rhometer.

El PAROtester es similar al martillo Schmidt (El martillo Schmidt se desarrolló para medir la dureza del concreto y se tomó como alternativa para hacer pruebas en la dureza de rollos) el PAROtester es mucho más sensible, usa menos energía de impacto y depende menos de quién lo opera, debido a su dirección de impacto más definida que el martillo Schmidt (Roisum, 1988), observe este equipo en la figura 2.19.



Figura.2.19 Medidor de la Dureza en Rollos, PARO tester.

Para medir la dureza a través de un rollo, el medidor Smith se puede usar para medir el perfil de dureza en el rollo desde el núcleo hasta las envolturas externas del rollo. El dispositivo Smith mide la penetración de una pequeña aguja, conforme esta se inserta en las vueltas de la banda de papel a lo largo de los lados del rollo. Enseguida se observa este equipo en la figura 2.20.

Usando sistemas de adquisición de datos en un ordenador, es posible calcular el factor de densidad del rollo (RDF) como los sistemas Accuwind y trazar la densidad relativa del rollo desde el núcleo hasta la superficie a medida que se forma el rollo. Comparando el diámetro real del rollo de bobinado con el diámetro teórico y trazan la relación en función del diámetro del rollo de bobinado. El valor del RDF es desplegado en la Terminal de Interfaz del Operador (OIT) en el enrollador (Roisum, 1988), como se muestra en la figura 2.21.



Figura.2.20 Medidor de Dureza, Aguja Smith.



Figura.2.21 Curva de Densidad del Rollo AccuWind.

2.2.2.5. Defectos de los Rollos.

Se ha tratado la importancia de la dureza del rollo, cómo se obtiene y como medirla, se han visto los defectos del rollo, causados por la dureza inadecuada como pueden ser:

- a) Pérdida en la redondez de los rollos.
- b) Estallidos internos de la hoja.
- c) Papel holgado.
- d) Bultos o cimas.
- e) Corrugaciones o marcas de cuerda.

Se tratarán ahora más defectos visuales que se deben evitar, para enrollar bobinas de buena calidad, a modo de ejemplo.

Comienzo pobre, compensaciones básicas, empalmes, compensaciones y entretejido, rollos con cara como plato y telescopios, rollos estrellados, anillos de corte. Otros defectos de la cortadora tales como, polvo excesivo del cortador longitudinal, bordes con tiras, bordes altos.

2.2.2.5.1. Comienzo Pobre.

Los inicios deficientes, se dan cuando hay diferencias visuales en la apariencia entre el papel cerca del núcleo y el resto del rollo, este defecto se ejemplifica en la figura 2.22. Son causa de los inicios pobres el empezar a enrollar con holgura en la hoja, arrugas en la hoja al inicio, núcleos de cartón de mala calidad o en mal estado, bobina suelta cerca del núcleo.

Para evitar o solucionar el problema del comienzo pobre, se debe apretar la banda de papel antes de sujetarla al núcleo, utilice núcleos de cartón de calidad y correctamente almacenados, arranque con la tensión de la hoja adecuada, nip y/o torque.



Figura.2.22 Muestra de Rollo con Mal Inicio.

2.2.2.5.2. Compensaciones Básicas.

Las compensaciones del núcleo se dan, cuando los núcleos se desplazan dentro o fuera de los lados de las bobinas. Este defecto se muestra en la figura 2.23.

Las causas de los defectos que se presentan en el núcleo de cartón, pueden ser núcleos mal alineados con la banda de papel o la hoja no está bien sujeta al núcleo.

Para evitar y solucionar el problema de los centros desplazados, asegúrese de que los núcleos estén alineados con las cuchillas de corte longitudinal, retenga los núcleos de forma segura y fije las hojas a los núcleos.

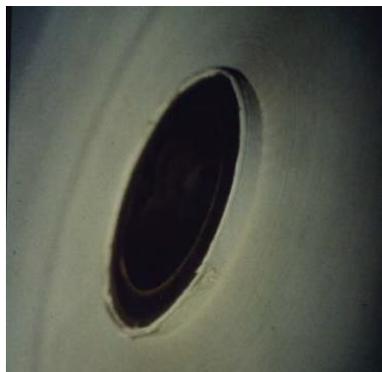


Figura.2.23 Rollo con Centro de Cartón Desplazado.

Las figuras 2.24, 2.25 ,2.26 y 2.27, son muestra de defectos, que pueden presentarse en el embobinado de los rollos, rollos estrellados por causa de enrollar el papel demasiado apretado, al grado que provoca que el centro hueco de cartón se colapse, el rollo telescopio se produce cuándo la banda de papel presenta desplazamientos laterales y se enrolla hacia afuera del perfil lateral del centro de cartón, rollos con mal embobinado ocasionado por pequeños desplazamientos laterales de la hoja en un sentido o en otro, ocasiona que la cara del rollo no se vea lisa y uniforme. Además, los rollos con caras no uniformes, provocadas por problemas en las cuchillas de corte longitudinal, presentan anillos de corte y mal embobinado.

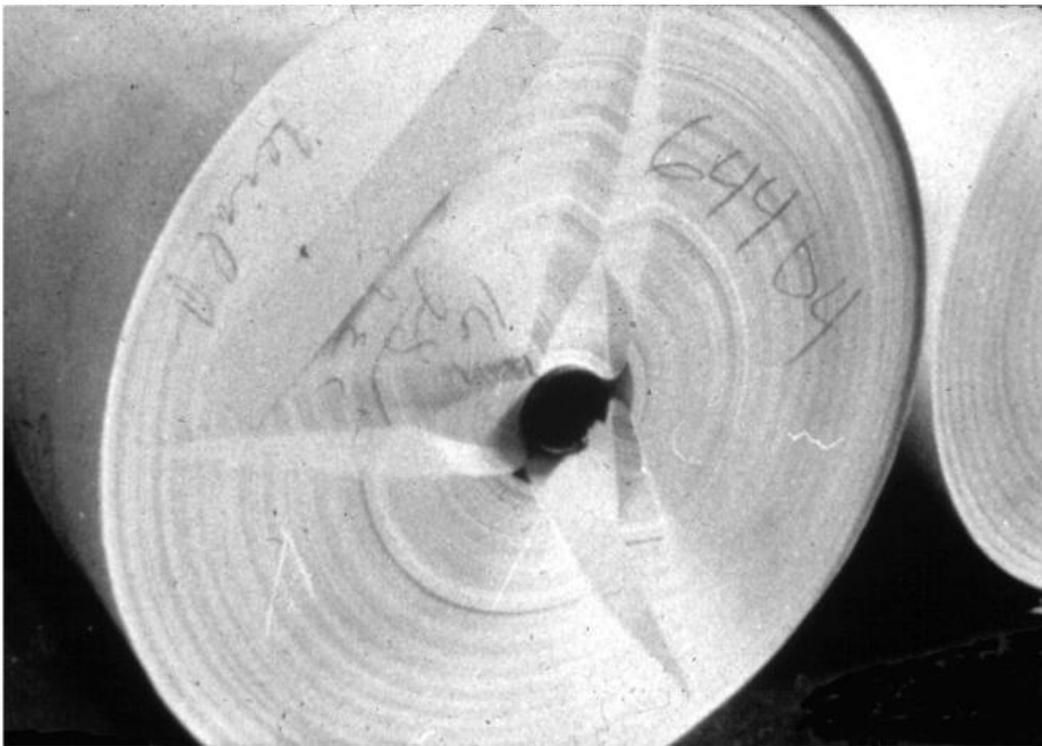


Figura.2.24 Muestra de Rollos Estrellados.

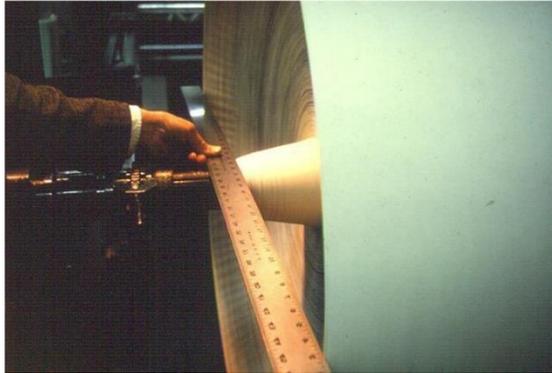


Figura.2.25 Muestra de Rollo Telescopio.

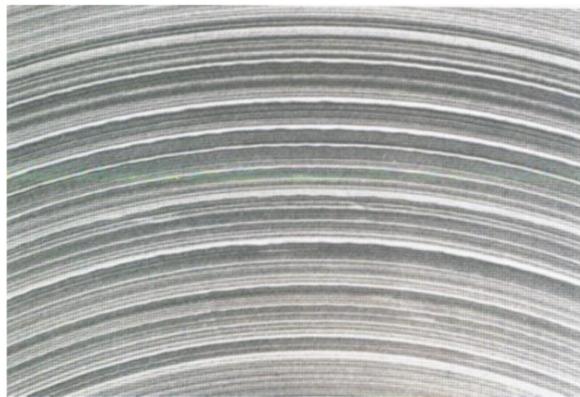


Figura.2.26 Rollo con Mal Embobinado.



Figura.2.27 Rollos con Anillos de Corte y Mal Embobinado.

2.2.2.6. Control de Dureza en Cortadora de Dos Tambores.

La dureza del rollo se desarrolla de diferentes maneras en diferentes tipos de bobinadores, pero los principios básicos, de cómo construir la dureza del rollo son siempre iguales. Para recordar estos principios, solo recuerde qué para enrollar Rollos de manera consistente, necesita T.N.T. (Smith, 2001).

Tensión - La tensión de la hoja a embobinar, normalmente esta tensión es medida por celdas de carga, la señal proporcionada por las celdas de carga se utiliza para retroalimentar al sistema de control de tensión.

Nip - Representa el nip formado entre un rodillo y el rollo de enrollado, este rodillo es conocido comúnmente como tambor. Nip formado entre el rollo y el rodillo jinete, presión del jinete.

Torque - significa par, este es un término algo confuso ya que no es de manera estricta un par de torsión sino más bien el diferencial de par entre dos motores (Good, Roisum, 2008).

En la discusión que sigue, el término presión del rodillo jinete se refiere a la presión hacia abajo ejercida por el peso del rodillo jinete sobre los rollos de papel. La presión de alivio del rodillo jinete se refiere a la presión hidráulica en los cilindros de alivio, los cuáles ayudan a soportar el peso del rodillo jinete, lo que reduce la presión hacia abajo sobre los rollos de papel (Valmet, 2018).

Acción indirecta, aunque los estudios técnicos de valmet han encontrado que la presión del rodillo jinete tiene un efecto en la dureza de los rollos del embobinado, la relación no es simple ni directa. En su lugar, la presión del rodillo jinete actúa junto con el peso de los rollos del embobinado para influir en la presión de compresión entre los rollos y los tambores. La presión de compresión en el nip del tambor, a su vez, ayuda a que los tambores transfieran su par a los rollos de embobinado, lo que influye en la dureza del rollo (Valmet, 2018).

Presión del nip del tambor, la presión de compresión en el nip del tambor se puede cambiar en cualquier punto del proceso de bobinado al alterar la presión del rodillo jinete, pero la variable que importa es la presión de compresión en el nip del tambor, no la presión del rodillo jinete. Antes de cambiar la presión del rodillo jinete en un intento de alterar la presión del nip del tambor, considere lo siguiente.

Los cambios en la presión de contacto entre los rollos del embobinado y los tambores pueden crear cambios no deseados en la dureza del rollo. Si bien es cierto que en general, la mayor presión de compresión del tambor conduce a rollos más duros, la relación entre la presión de compresión del tambor y la dureza del rollo es muy compleja (Valmet, 2018).

Sitio de embobinado, la relación entre la presión de compresión del tambor y la dureza del rollo de embobinado se complica aún más por el hecho, de que los rollos de embobinado en un principio, son pequeños depositados en el hueco de enrollamiento entre los tambores; después, a medida que los rollos incrementan su diámetro y se hacen más grandes se desplazan más arriba en los tambores, la geometría cambiante entre los rollos y los tambores crea cambios en la forma en que la presión de compresión del tambor afecta la dureza del rollo, sin embargo, si se mantiene la presión de compresión del tambor a un nivel constante, como se observa en la figura 2.28, puede evitar cambios no deseados en la dureza del rollo, mantener la presión del nip del tambor a un nivel constante sería difícil de conseguir, si no se contará con los programas de alivio integrados en la lógica del sistema de control, para el manejo del rodillo jinete.

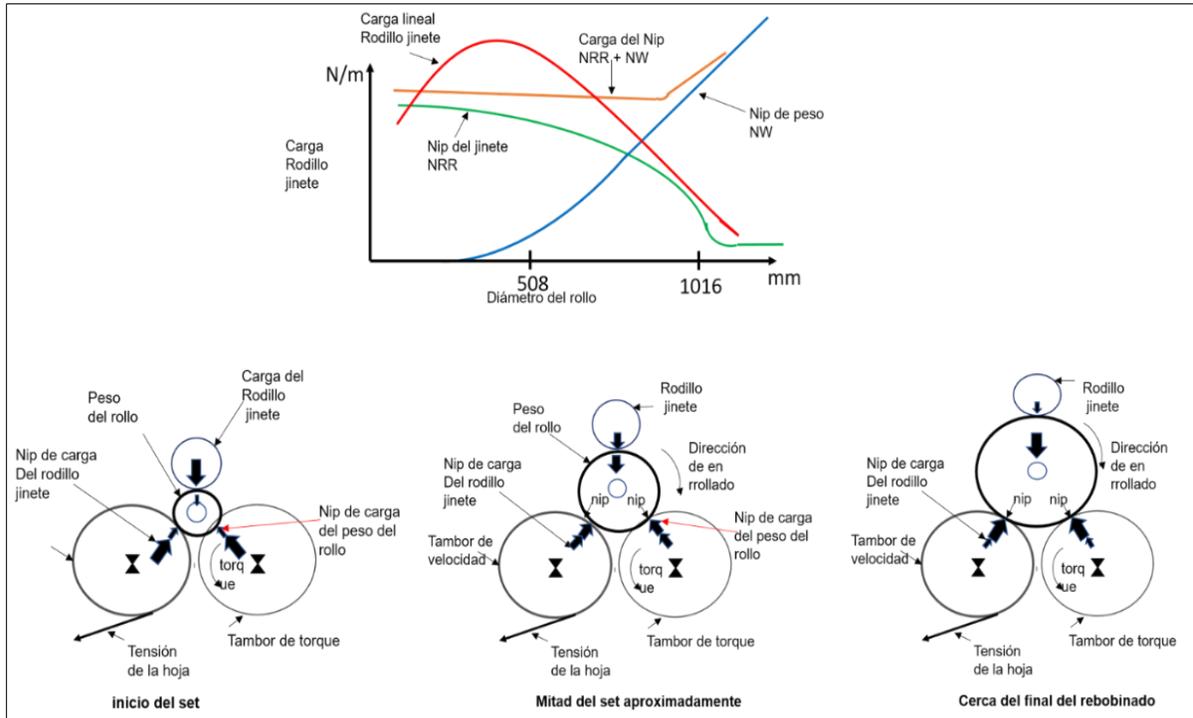


Figura.2.28 Función del Jinete en Bobinadora de Dos Tambores.

2.2.2.6.1.Principio General.

Hacia el final del set, no se puede evitar la alta presión del tambor ocasionada por el peso de los rollos terminados, por lo tanto, si la presión del tambor se mantiene constante durante todo el proceso de bobinado, deberá mantenerse en un nivel alto desde el principio, de esa manera, el par de torsión de los tambores se transferirá a los rollos del embobinado en todas las etapas del proceso.

2.2.2.6.2.Función de Seguridad del Rodillo Jinete.

El propósito del rodillo jinete es agregar presión hacia abajo a los rollos, cambiando gradualmente esa presión para mantener una presión de nip constante en el tambor en todo momento. El jinete cumple también funciones de seguridad, ayuda

a mantener los rollos en su lugar sobre los tambores, por esa razón, nunca se permite que la presión de alivio levante el rodillo, al grado que lo separe dejando de hacer contacto con los rollos de papel (Valmet, 2018).

2.2.2.6.3.Presión del Jinete más Peso del Rollo.

Al comienzo del set de los rollos de embobinado, la presión hacia abajo del rodillo jinete es útil para compensar el poco peso de los rollos en formación, ambos, la presión del rodillo jinete y el peso de los rollos producen una presión del nip constante entre los rollos y los tambores (Valmet, 2018).

En general conforme los rollos aumentan su diámetro y su peso la presión hacia abajo ejercida por el jinete puede disminuir, pero esto no aplica al comienzo del set cuando los rollos no tienen peso. Al iniciar el set, la presión hacia abajo del rodillo jinete no necesita ser tan grande, como se cree dado el peso ligero de los rollos, ya que los rollos están acomodados en el hueco de enrollamiento entre los tambores, la geometría de este hueco es tal que cantidades más pequeñas de la presión del rodillo jinete, producen la presión del nip suficiente en el tambor.

A medida que los rollos se levantan del hueco de enrollamiento entre los tambores y se apoyan más directamente en los tambores, la presión del rodillo jinete tiene que aumentar, aunque los rollos de papel pesen más que cuando estaban en el hueco entre los tambores. Una vez que los rollos han terminado de levantarse del hueco y se están enrollando por encima de los tambores, la presión del rodillo jinete puede disminuir constantemente a medida que el peso de los rollos sigue aumentando.

A mediados del set, se tiene uno o un conjunto de rollos de 34 pulgadas a mitad del camino hasta su finalización. En este punto, la presión del rodillo jinete y el peso de los rollos hacen contribuciones iguales a la presión del nip del tambor, juntas las dos fuerzas hacia abajo crean la misma presión de compresión del tambor, que se creará por el peso de los rollos solos hacia el final del set, es por ello que la presión del jinete tiene que continuar disminuyendo.

Cercano al final del set está totalmente aliviada la presión del rodillo jinete y casi la

totalidad de su peso está siendo soportado por los cilindros hidráulicos y no por los rollos, resultando que la presión del jinete es mínima sobre el rollo y su efecto sobre el nip del tambor también es pequeño (Valmet, 2018).

La presión del nip en el tambor, permanece más o menos constante durante todo el proceso de embobinado, porque el peso de los rollos es suficiente al final para producir la presión necesaria del nip del tambor.

2.2.2.6.4. Control de Par del Tambor.

Los estudios técnicos de valmet han encontrado que el par del tambor tiene un efecto muy predecible en la dureza del rollo, cuando la tensión de la hoja de papel y la presión del nip del tambor se mantienen constantes. El par del tambor es un medio excelente para garantizar que los rollos tengan una dureza uniforme o decreciente desde el núcleo hacia el exterior de los rollos (Valmet, 2018). Es por ello por lo que se toma en cuenta la relación del par motor del tambor delantero vs el tambor trasero, en pocas palabras, el par del tambor delantero tiende a apretar el embobinado y aumentar la dureza del rollo. La figura 2.29 muestra el control de par en los tambores. El par del tambor trasero afloja el embobinado y disminuye la dureza del rollo.

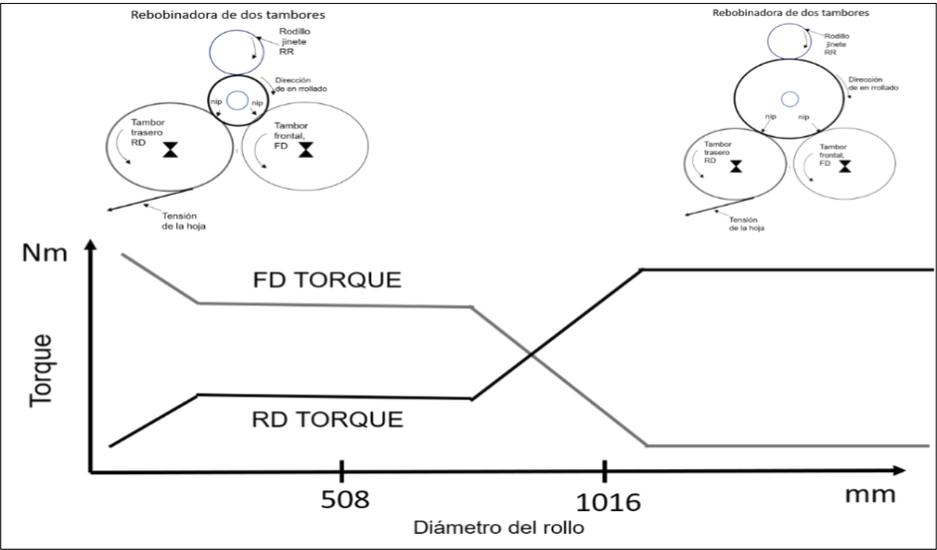


Figura.2.29 Manejo de Torque en los Tambores.

2.2.2.6.5. Técnicas de Control de Par del Tambor.

Hay tres tipos de sistema, que se usan comúnmente en las bobinadoras de dos tambores Valmet, son la diferencia de par, la relación de par y la diferencia de fuerza del tambor. Los tres sistemas, utilizan la diferencia de par entre los tambores para controlar la dureza del rollo, cada sistema tiene ventajas y desventajas que afectarán la elección del sistema seleccionado para una rebobinadora en particular (Valmet, 2018).

La rebobinadora a la que está dedicado este trabajo hace uso de la técnica de diferencia de torque vaya a la figura 2.30 como auxiliar en su explicación. El control de la diferencia de par se usa generalmente en las bobinadoras más antiguas, este sistema utiliza amperios/pie o amperios/metro como su unidad de medida, esto es muy efectivo ya que los amperios del inducido de un motor de CC pueden convertirse fácilmente en torque.

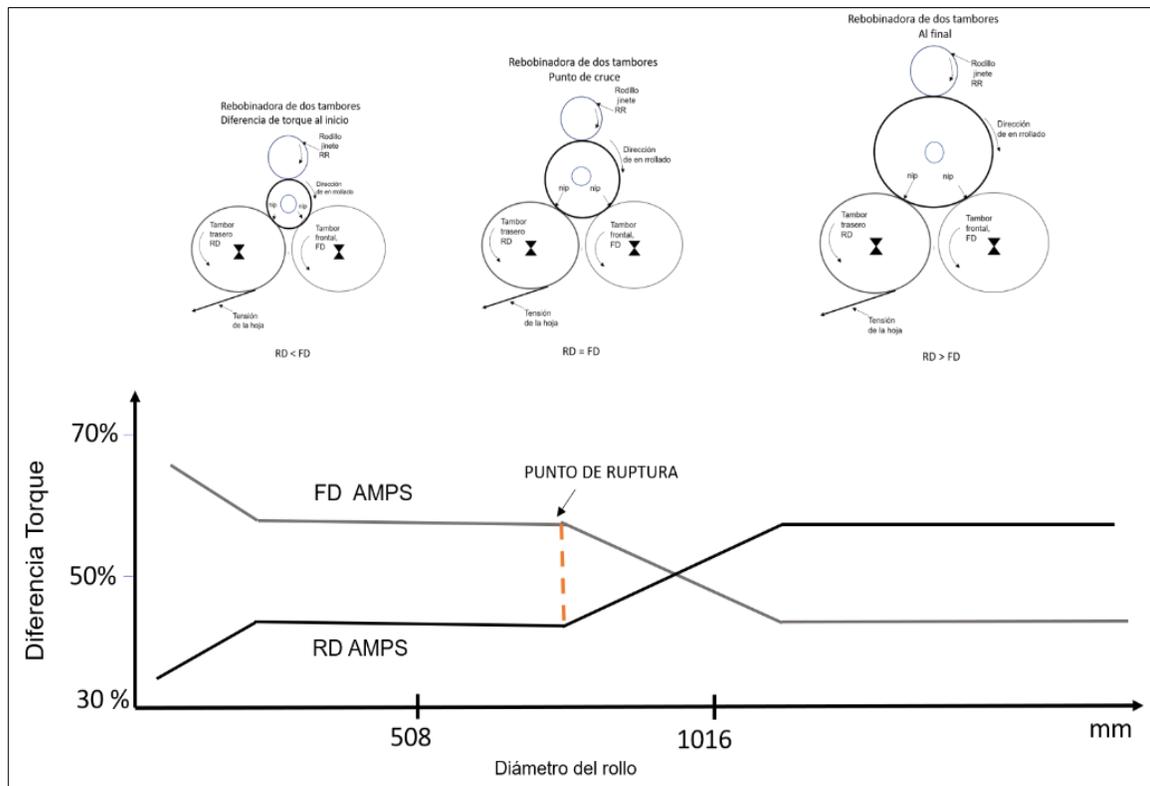


Figura.2.30 Control por Diferencia de Torque.

El ajuste de la diferencia de torque de los tambores controla el resultado del embobinado, de tal manera que el rollo empieza apretado (mayor dureza) y al final se obtiene una superficie más floja (dureza menor), significa que lo apretado del rollo decrece uniformemente hacia la superficie.

Al inicio del set un incremento en la carga del rodillo jinete, no produce la dureza suficiente por sí solo, se necesita el aporte de la diferencia de torque en los tambores, el tambor frontal debe ser conducido más fuerte que el tambor trasero, es decir; al inicio tambor frontal mayor torque que el tambor trasero, torque $RD < FD$.

Por otro lado, conforme el diámetro y el peso del rollo incrementa y ya no sea posible aliviar más el peso del rodillo jinete, el diámetro del rollo está pasando por el punto crítico; es importante aflojar el rollo mediante la diferencia de torque, ahora el tambor trasero tiene que empujar el papel contra la superficie del rollo más fuerte de lo que el tambor frontal lo jala, torque $RD > FD$.

El grado de diferencia de torque es usualmente dado en porcentaje, si el amperímetro del tambor frontal muestra en su lectura 180 Amp y el tambor trasero muestra 120, la diferencia del torque es 60% - 40%.

La diferencia común, no debe ser tan alta que ocurra un deslizamiento entre el rollo de papel y el tambor esto causa vibración o rompimiento de hoja.

2.2.3. Rebobinadora de Dos Tambores Caso de Estudio.

La máquina instalada y a la que se hace referencia en este documento, tiene una configuración de dos tambores con rodillo jinete.

2.2.3.1. Datos Físicos de la Rebobinadora.

Datos físicos y dispositivos de la bobinadora, que serán de utilidad para actualizar y mejorar el control del rodillo jinete, se presentan en las siguientes tablas.

En la tabla 2.2, se listan dimensiones físicas de la bobinadora y sus valores de medida. El mismo esquema se replica, en cada una de las demás tablas 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10, estas muestran la información clara y completa, no se prevé necesario agregar información adicional (Valmet Paper, 1989).

Tabla.2.2 Datos Físicos y Operación de la Bobinadora.

PARÁMETRO FISICO	VALOR O (RANGO)
Grados de papel	papeles finos
Gramaje	30 – 120 g/m ²
Ancho de máquina	2500 mm
Relaciones de aceleración y desaceleración	0.42 m/s ² , 0.28 m/s ² , 0.21 m/s ²
Tensión máxima de la hoja	950 N/m
Diámetro interior del centro de cartón	76 y 150 mm (entre otros)
Diámetro exterior del centro mínimo	110 mm

Tabla.2.3 Requerimientos de Recursos.

RECURSO	VALOR
Voltaje	440 v / 110 v, 60 Hz
Fluctuación de Voltaje	± 5%
Fluctuación frecuencia	± 3%
Aire presurizado	500 kPa
Agua de enfriamiento	420 kPa

Tabla.2.4 Sección de Desbobinado.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo	sin eje, auto elevado
Rollo máximo en des bobinador	diámetro 1550 mm
Ancho mínimo	500 mm
Sujetador de centros	extensiones diferentes medidas
Alineación de la hoja	± 100 mm total, hidráulico
Sujetador bobina madre	Electrohidráulico
Control tensión hoja	frenos eléctricos
Rodillos conductores de la hoja	Aluminio estriado

Tabla.2.5 Corte Longitudinal del Papel.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Rodillos conductores de la hoja	Aluminio estriado reforzado con molibdeno
cortadores	Cuchilla circular y contra motorizada
Motores de las contras	8x0.9 kw
Canaletas de recortes o tirillas, laterales	Recorte de borde, ancho máximo 2x80 mm, ancho mínimo 2x20 mm
Rodillos conductores de la hoja antes y después del corte	Aluminio estriado reforzado con molibdeno

Tabla.2.6 Área de Bobinado de Rollos.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Dispositivos de enhebrado de hoja	Placas de guía, chorros de aire, rodillos de enhebrado.
Máximo diámetro de bobinado	1550 mm
Diámetro de tambores	787 mm
Frenos de paro	De disco hidráulicos
Rodillos barras ajustables	Para lograr la separación de los cortes

Tabla.2.7 Rodillo Jinete y sus Dispositivos.

DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN
Rodillo jinete	Diámetro 237 mm
Movimiento vertical del rodillo jinete	Por medio de cilindros hidráulicos
Medición de la posición del rodillo jinete	Con potenciómetro
Candados de seguridad	Operados neumáticamente, candados de trinquete con seguro de atrape

Tabla.2.8 Sujetadores de Centros.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Sujetador de centros	Mandriles hidráulicos, controlados a distancia
Ajuste ancho del rollo	Hidráulicos controlados a distancia
Control de movimiento vertical	Hidráulico
Mandriles para centros	Centros de 76 mm, 150 mm, entre otras medidas

Tabla.2.9 Zona de Expulsión de Rollos.

DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN
Rodillo expulsor de rollos	Control hidráulico
Barrera antivuelco/guarda de la zona de bobinado	Baja la protección de red entre el tambor y la cuna de bajada de rollos
Cuna de bajada de rollos	Movimiento usa control hidráulico

Tabla.2.10 Controles de la Rebobinadora.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Alivio del rodillo jinete	Ajuste hidráulico, unidad electrónica equipada con tres programas de presión de bobinado
Ajuste de la relación de corriente del tambor	Control automático ajustable
Ajuste de la tensión de la hoja	Control con motores
Medición de la tensión de la hoja	Medición con celdas carga
Control central, funciones de proceso y seguridad	Control lógico programable, Siemens s5 135U
Unidad hidráulica	Válvulas, conectores, tuberías y bombas, componentes y documentación estándar conforme al fabricante
Dispositivos eléctricos e instrumentación	Componentes y documentación estándar conforme al fabricante

2.2.3.2. Equipo Original de la Rebobinadora.

Se cuenta con una unidad hidráulica que provee la presión de forma constante, a los cilindros que soportan y permiten el movimiento del rodillo jinete, la presión de trabajo que proporciona la unidad es de 120 Bar.

Esta máquina bobinadora está equipada con un Controlador Lógico Programable (PLC), que es la unidad de control central y principal de la máquina, se trata de un PLC en marca siemens de la familia S5 modelo 135, en este reside el programa principal de operación, secuencias, ciclos operativos, incluidos los aspectos de seguridad.

La bobinadora cuenta con controles específicos y reciben comandos y señales del PLC principal; estos controles realizan funciones especializadas en ciertos procesos de la máquina, liberando al PLC principal de estas actividades.

Ejemplos de controles especializados.

Control de tensión de la hoja en la zona del desbobinador, este sistema permite mantener la tensión de la banda de papel en el nivel deseado y adecuado.

El caso de los drives, para el movimiento del motor del tambor delantero y del motor del tambor trasero para proporcionar las funciones de arrastre, control de la velocidad de trabajo de la máquina y funciones de enrollado del papel.

El control del rodillo jinete (el equipo de interés en el desarrollo de este documento), tiene un sistema electrónico para manejar la dirección de movimiento, velocidad y control de carga del rodillo.

2.2.3.3. Equipo Original para Control del Jinete.

De origen esta máquina está equipada con un módulo analógico tipo rack, en marca nobel electrónica modelo PU-11r, este módulo tiene la capacidad de generar las salidas analógicas para manejar la presión y el flujo hidráulico necesario para proporcionarle movilidad al rodillo jinete. El módulo Pu11r ejecuta sus diferentes funciones, en base a comandos digitales que recibe de componentes externos. El Pu11r se muestra en la figura 2.31, en esta imagen se observa su fuente de poder, los potenciómetros para ajustes en las diferentes tarjetas y al lado izquierdo está la regleta de tablillas para conectar el módulo con los componentes periféricos. En la siguiente figura la 2.32, se expone el diagrama eléctrico general del módulo Pu11r y sus conexiones externas, que incluyen comandos de entrada y sus señales de salida, a la izquierda está el selector de los programas automáticos, el potenciómetro para medir la posición del jinete y el de ajuste de carga manual, a la derecha se tienen las entradas para determinar dirección y velocidad de movimiento del jinete, también se observan las salidas análogas para controlar la válvula tipo servo, abajo está el potenciómetro para ajustar el ancho de los rollos y el indicador de presión hidráulica. Referencia (Valmet paper, 1990).

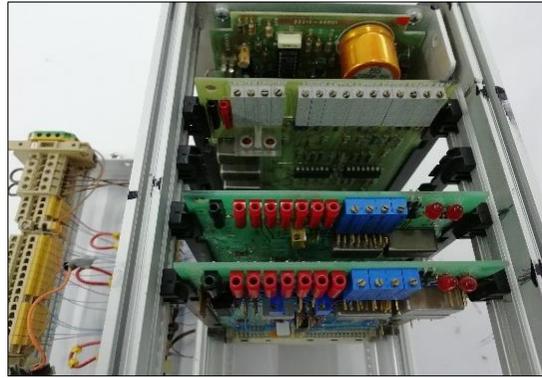


Figura.2.31 Módulo Pu11r.

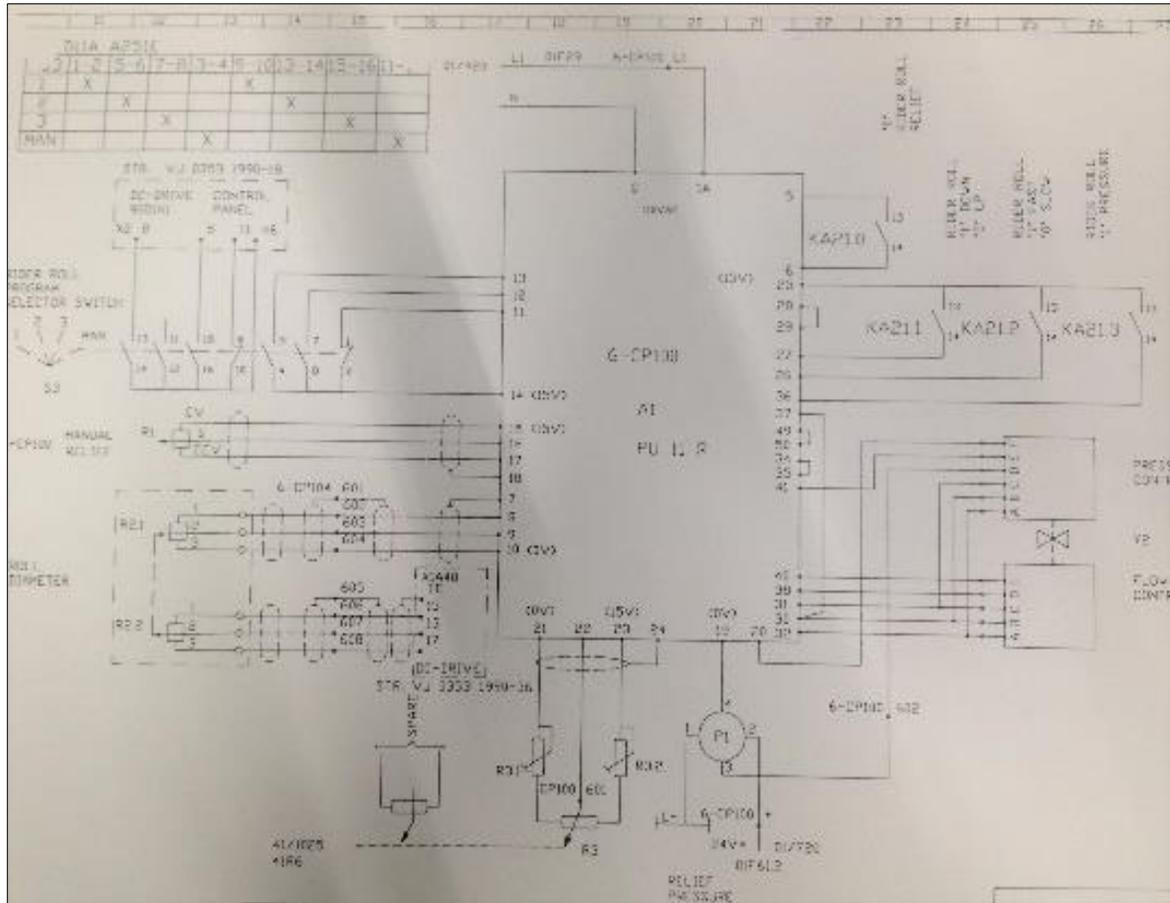


Figura.2.32 Esquemático del control electrónico.

2.2.3.4. Equipos Hidráulicos del Rodillo Jinete.

Para proporcionarle movilidad al rodillo jinete se utiliza la potencia hidráulica, lo que conlleva al uso de elementos hidráulicos, cilindros, reguladores, válvulas direccionales, filtros y tuberías. En la figura 2.33 se muestra un esquemático general del control electrohidráulico del rodillo, se observan los dos cilindros hidráulicos para soporte y movilidad vertical, la válvula tipo servo para control de flujo y presión, también los controles contenidos en el módulo Pu11r, para manejar la dirección del movimiento, las rampas de velocidad y las curvas de presión en base a la posición del rodillo (Valmet paper, 1990).

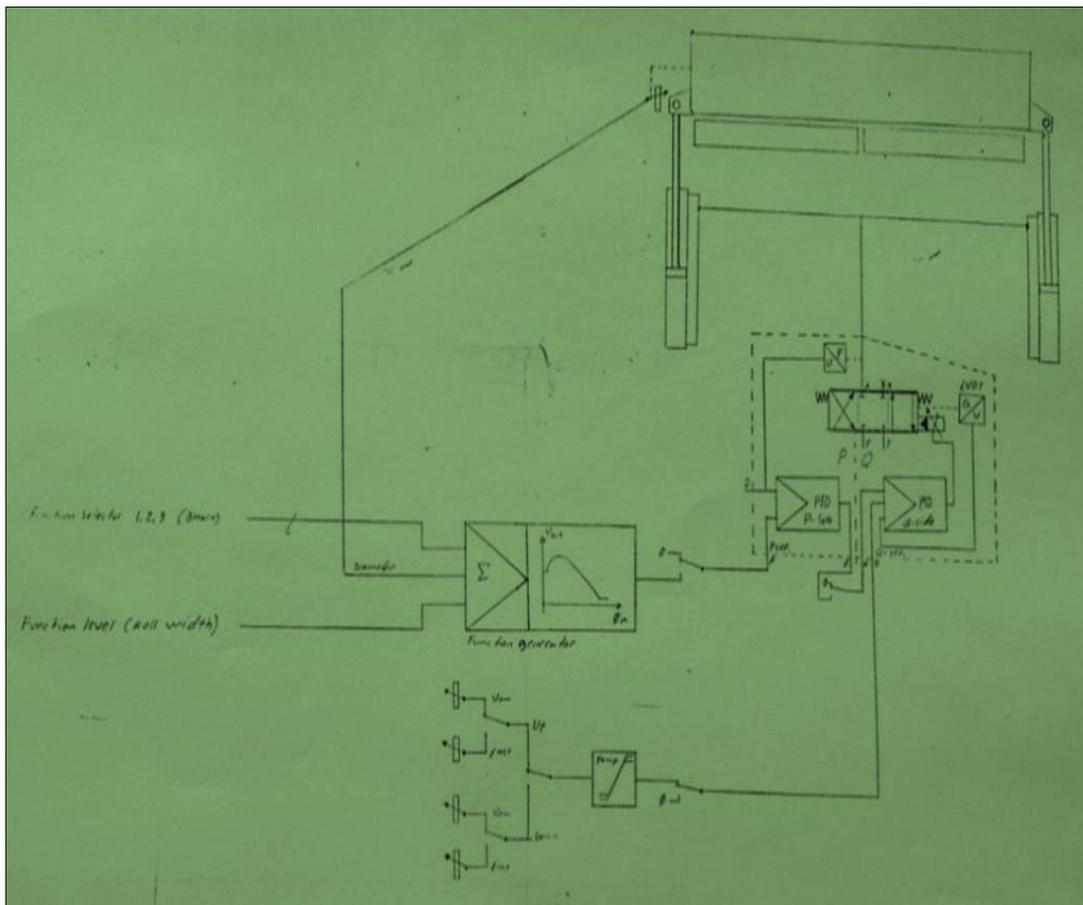


Figura.2.33 Control Electrohidráulico en el Rodillo Jinete.

La hidráulica estudia propiedades mecánicas de los fluidos y se aplica en dispositivos que funcionan con líquidos. La oleo hidráulica, es una rama de la hidráulica y es la técnica aplicada a la transmisión de potencia, mediante fluidos contenidos en un espacio confinado. Los actuadores hidráulicos, más usuales y de mayor antigüedad en las instalaciones hidráulicas, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación y aprovechan la energía de un circuito o instalación hidráulica de forma mecánica generando movimientos lineales (Creus, 2011).

Los cilindros hidráulicos pueden ser de simple o doble efecto y telescópicos estos últimos para usarse en grúas. En los de simple efecto, el fluido hidráulico empuja en un sentido el pistón del cilindro y una fuerza externa (resorte o gravedad) lo retrae. El cilindro de acción doble utiliza la fuerza generada por el fluido hidráulico, para mover el pistón en los dos sentidos mediante una válvula solenoide. El telescópico contiene otros de menor diámetro en su interior y se expanden por etapas (Creus, 2011).

2.2.3.4.1. Servo-Válvula para el Rodillo Jinete.

Para lograr el control en la velocidad y el monto de presión dentro de los cilindros hidráulicos que soportan al rodillo jinete, es necesario contar con un tipo de válvula que responda proporcional a una señal de referencia analógica sea esta de voltaje o corriente. Se describe enseguida y se muestra en la figura 2.34 un tipo de válvula que reúne los requisitos antes mencionados.

La servo-válvula de la figura 2.34, consiste en una bobina que recibe la señal de control eléctrica y en su interior se encuentra una armadura flotante que en su centro recibe el chorro de aceite de dos toberas y por el extremo está unida al émbolo de una válvula proporcional, la señal de control establece la posición del émbolo y, por tanto, gracias al diferente chorro de las toberas, las presiones de salida en A y B, para realizar un trabajo, el conducto T comunica con el tanque de fluido hidráulico (MOOG, 1988).

Esta válvula tiene electrónica integrada en el lado izquierdo para medición y control de presión y en el derecho para control de flujo usando control de posición del embolo.

En la figura 2.35 se tiene un diagrama a bloques de los controles integrados en la válvula servo tipo P-Q, el controlador de posición del embolo o carrete cierra su lazo midiendo la posición con un transductor LVDT, mientras que el controlador de presión cuenta con un sensor de presión, en la imagen se aprecian las diferentes literales que representan las señales de control y su significado.

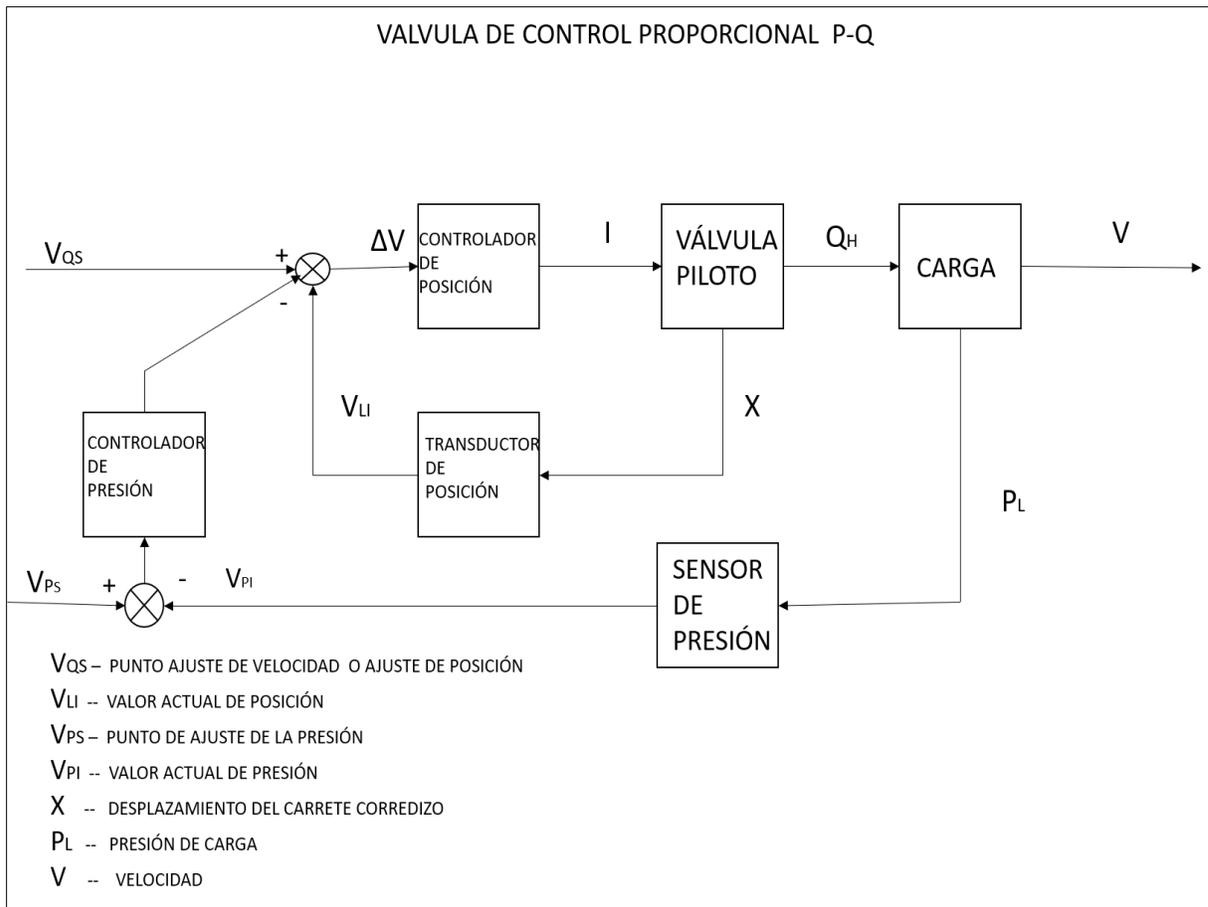


Figura.2.35 Bloques de Control en Servo Válvula P-Q.

2.2.3.4.1.1. Control de Flujo en Servo P-Q.

Para controlar flujo o caudal, el interruptor externo debe estar en la posición 1-2 se le puede ver arriba a la derecha en la figura 2.34.

La posición del carrete deslizante se mide mediante un transductor de posición eléctrico sin contacto y se compara en forma de voltaje la posición real V_{LI} con el voltaje de comando V_{OS} , la diferencia va al controlador de posición, si el valor real difiere del punto de ajuste, el controlador de posición conduce la corriente a través de las bobinas, de la válvula piloto encargada de mover el carrete deslizante, para que la diferencia se reduzca a cero (MOOG, 1988).

El desplazamiento del carrete deslizante, desde la posición central es proporcional al comando eléctrico, si la polaridad de la señal de comando cambia la dirección de desplazamiento también cambiará. El flujo real depende de la apertura y la caída de presión de la válvula.

Se aplica la ecuación (2.1).

$$Q_x = Q_N \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_N}} \quad \text{Ec.(2.1)}$$

Dónde:

Q_X	Tasa de flujo de la válvula
Q_N	Tasa de flujo nominal, válvula totalmente abierta $\Delta P_X = \Delta P_N$
ΔP_X	Caída de presión de la válvula
ΔP_N	Caída de presión nominal

Dónde Q_X y Q_N están en (l/min) y ΔP_X y ΔP_N están en (Bar).

Con una caída de presión constante de la válvula, el caudal de la válvula depende solo de la apertura de la válvula. Por razones de simplificación el punto de ajuste de la posición se designa como el punto de ajuste del caudal.

2.2.3.4.1.2. Control de Presión en Servo P-Q.

Con la función de presión el usuario puede optar por uno de los dos modos siguientes:

a) Control de flujo y cambio a control de presión.

El interruptor externo debe estar en la posición 1-3 para el control de presión, ubique este interruptor en la figura 2.34.

La presión de carga a regular en el puerto A se mide con un sensor de presión incorporado y se compara en forma de voltaje la presión real V_{pi} , con el voltaje de comando de la presión V_{ps} por el controlador de presión.

Si el valor de presión real difiere del punto de ajuste de la presión, el controlador de presión cambia el comando de posición de la bobina y por lo tanto el flujo de la válvula para que la diferencia se reduzca a cero, esto significa que la presión regulada es proporcional al punto de ajuste de la presión aplicado.

b) Control de flujo con control de limitación de presión superpuesta.

Básicamente la válvula P-Q controla el caudal, siempre que el voltaje de presión real V_{pi} sea menor que el voltaje de comando de presión V_{ps} , la señal de salida del controlador de limitación de presión es cero y por lo tanto no tiene ningún efecto sobre el circuito de control del caudal, si debido a la carga (resistencia al movimiento) V_{pi} se vuelve mayor que V_{ps} , el controlador limitador de presión interviene en el sistema de control de velocidad de flujo y reduce la velocidad de carga de tal manera, que el valor de presión real se limita al punto de ajuste de presión (MOOG, 1988).

Con la válvula P-Q en la ruta de flujo principal, la presión se limita reduciendo la velocidad de flujo y en una ruta de flujo de derivación aumentando la velocidad de flujo. El controlador de limitación de presión solo es efectivo, si se aplica un punto de ajuste del caudal correspondiente.

Cuando la servo P-Q está operando en el modo de control de presión, la presión de salida P_L en Bar es proporcional al valor de referencia o set point VPS en volts. Esta condición se especifica en la figura gráfica 2.36.

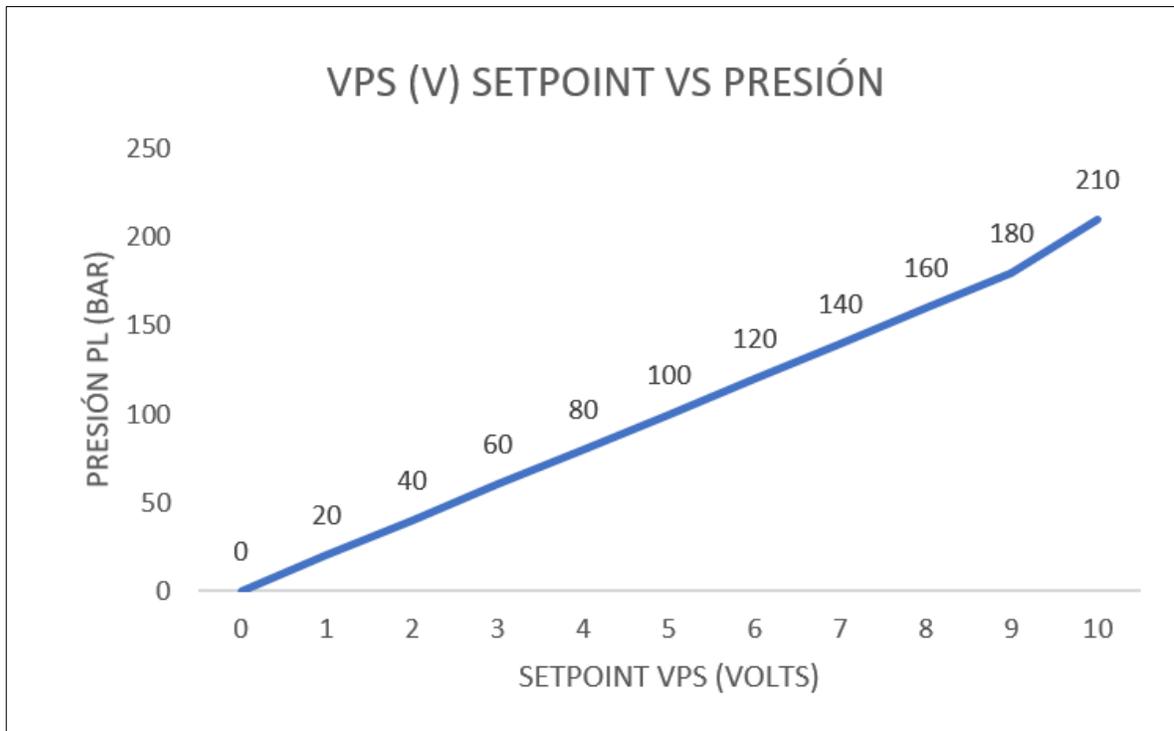


Figura.2.36 Función de Presión en Servo Válvula P-Q.

2.2.3.4.1.3. Aplicación de Servo Válvulas P-Q.

Las aplicaciones preferidas para la válvula P-Q son los sistemas de control de velocidad y los circuitos de control de presión o fuerza. Para aumentar la precisión se puede formar un bucle de control de velocidad, mediante retroalimentación adicional de la velocidad de carga, utilizando un circuito electrónico adecuado. Es importante saber las características eléctricas de la tabla 2.11 y considerar cómo se realizará la conexión eléctrica de la servo-válvula, la figura 2.37 muestra los dos conectores, el del

lado presión con sus alimentaciones de voltaje, setpoint de presión V_{PS} , la medición de presión V_{PI} , en el lado flujo sus alimentaciones de voltaje y setpoint de flujo V_{QS} , los dos lados están interconectados en el punto (E), al estar abierto el contacto la válvula controla flujo y al cerrarse controla presión, si esta conexión es permanente la válvula controla flujo con control de limitación de presión superpuesta (MOOG, 1988).

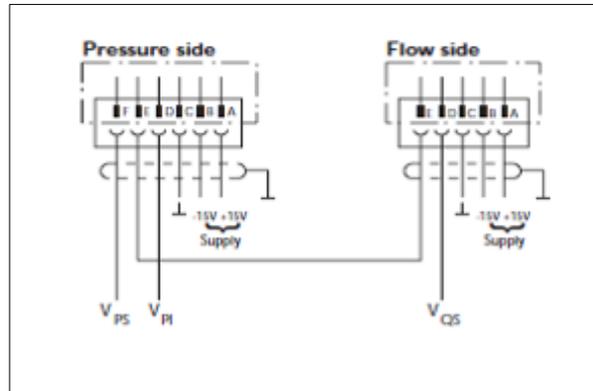


Figura.2.37 Conexión Limitación de Presión Superpuesta.

Tabla.2.11 Características Eléctricas Servo-válvula P-Q.

CARACTERÍSTICA	VALOR O RANGO
Fuente de voltaje	+/- 15 vcd, estabilizados
Consumo de corriente	300 ma, máximo
Impedancia de entrada	>50Kohm
Setpoint de flujo V_{qs}	0 - +/- 10 volts
Setpoint de presión V_{ps}	0 - +10 volts (0-210 bar versión f, 0-350 bar en versión k)
Valor de presión actual V_{pi}	0 - (-10 volts)

2.2.3.5. Mandos Eléctricos para Control del Jinete.

La máquina bobinadora tiene una consola principal, dónde están instalados los mandos para arranque, paro, cambio de montada (set) de rollos, ajustes, visualización en display de 7 segmentos de la presión en bar (que se está aplicando a los cilindros del rodillo jinete), display de 7 segmentos para visualizar la longitud en metros del rollo hijo, lámparas de alarmas y condiciones generales de trabajo al estar corriendo un set o ciclo de la máquina. Esta consola esta estratégicamente ubicada, para que el operador pueda tener una vista lateral general (el área de des bobinado, sección de corte longitudinal, zona de tambores y rodillo jinete que es dónde se están formando los nuevos rollos (rollos hijo).

Esta máquina tiene pequeños paneles de control ubicados en áreas estratégicas de la máquina, con el fin de facilitar al operador hacer ajustes, sin necesidad de tener que acudir al panel principal.

Para la operación del rodillo jinete, en el panel principal el operador cuenta con:

- a) Selector para las funciones de carga del jinete, modo manual, programas automáticos 1,2 y 3.
- b) Potenciómetro para ajuste manual de la fuerza o carga del rodillo.
- c) Potenciómetro para setpoint, del ancho del rollo (mm) a cortar que es muy similar al ancho del rollo montado en el des bobinador, excepto por los dos refiles, recortes laterales o sobrantes que suelen ser normalmente de un ancho de 5 cm o menos.
- d) Selector para el comando de subir o bajar el rodillo jinete.

El rodillo cuenta con dos cilindros accionados por aire comprimido uno a cada extremo; para liberar seguros tipo trinquete que evitan el giro de un engrane sobre una corredera tipo cremallera, si no se liberan estos candados no es posible que baje el rodillo jinete, estos candados son elementos de seguridad, en el lado transmisión esta un potenciómetro para medir su posición.

2.2.3.6. Como se Opera el Rodillo Jinete.

Siendo más específicos en lo que involucra al rodillo jinete y su manejo, se explican sus funciones y como las lleva a cabo.

2.2.3.6.1. Secuencia Operativa Original del Jinete.

Al terminar un set se tienen un rollo(s) en ancho y diámetro adecuados, antes de expulsarlos y sacarlos de la máquina, el rodillo jinete está en ese momento apoyado sobre la parte superior de los rollos hijos, el operador lo manda subir utilizando el selector manual para subir rodillo o activa un selector de cambio de set automático, el cambio automático desencadena una secuencia de pasos, con el fin de sacar los rollos de la máquina, estos pasos son:

- a) Comando para subir a la posición más alta el rodillo jinete, dónde un sensor tipo inductivo confirma su posición arriba.
- b) Comando para subir la guarda de protección del área de embobinado dónde un sensor inductivo confirma la posición arriba.
- c) Comando para subir la cuna o soporte de bajada de los rollos, la cuna está apoyada en el piso y sus dos cilindros hidráulicos realizan un giro semicircular con velocidad controlada, hasta que la ceja de la cuna se apoya en el tambor frontal y queda en posición para recibir los rollos.
- d) Comando para extraer los sujetadores de centro, a ambos lados de los rollos y una vez liberados suben al máximo por medio de cilindros hidráulicos, para que no obstruyan el proceso de extracción.
- e) Comando para activar el rodillo expulsor de rollos, el expulsor es accionado por cilindros hidráulicos y en un movimiento de giro desplazándose sobre los tambores, empuja los rollos hacia la cuna, regresando a su posición inicial, cuando la cuna haya iniciado su movimiento de regreso a su posición de piso.

- f) Comando para bajar la cuna, una vez que se detectó que los rollos ya están sobre ella, la cuna ejecuta el movimiento inverso para llevar los rollos al nivel de piso.

Ya con los rollos en el piso, da por terminada la corrida (set), cumpliendo un ciclo de trabajo de la máquina.

Paso seguido, el operador monta un nuevo rollo en el área de des bobinado y guía la hoja a través de la máquina hasta los tambores, sobre los cuales coloca los centros de cartón o simplemente solo guía la hoja en el caso de que el rollo montado en el des bobinador no se termine todavía, dado que de una misma bobina madre se pueden obtener varios sets de rollos hijos, según las necesidades de producción, una vez enhebrada la hoja y pegada con cinta o pegamento en los nuevos centros, se mueven los sujetadores de centros en forma horizontal por medio de cilindros hidráulicos para fijar las almas de cartón y evitar en lo posible que estos tengan desplazamientos laterales, estos sujetadores permanecerán fijando el centro en todo momento durante el crecimiento y hasta el final del bobinado del rollo, por lo mismo cuentan con cilindros hidráulicos que les proveen el desplazamiento vertical.

Comando para mandar bajar la guarda, el operador activa el selector para bajar el rodillo jinete, al momento se liberan los trinquetes de seguridad e inicia el descenso, primero a una velocidad baja, poco tiempo después se activa la velocidad alta, a determinada posición y antes de hacer contacto con los centros de cartón, debe hacer un cambio de velocidad de alta a lenta para posarse con menor fuerza sobre los centros y evitar un daño por machucón, al contacto con los centros el control pasa del modo bajar al modo alivio. En el modo alivio se controla la fuerza del rodillo jinete, aplicando la presión necesaria para aligerar el peso que ejerce el rodillo sobre los centros, este aligeramiento que se describe durante el desarrollo del set puede realizarse de modo manual, por ajustes que realiza el operador en el control manual de fuerza del rodillo o en forma automática conforme a curvas de carga preestablecidas en tres diferentes programas 1, 2 o 3, los cuales pueden aligerar o aumentar la fuerza que ejerce el rodillo sobre los rollos hijo conforme su diámetro crece.

Es importante apuntar, que el rodillo jinete estará en contacto con los rollos en la parte superior desde el inicio hasta el final del embobinado y permanece apoyado sobre los rollos como medida de seguridad hasta que la máquina deje de girar o lo haga muy lento, solamente bajo esta condición se podrá generar el comando para subir el rodillo, también debe permanecer sobre los rollos en el caso de presentarse una reventada de la banda de papel y la máquina este girando a alta velocidad (el rollo hijo no tiene su diámetro y longitud final), el rodillo permanecerá por seguridad sobre los rollos hasta que la máquina pare.

2.2.3.6.2. Señales Originales para Control del Jinete.

En la tabla 2.12, se especifican los comandos que recibe el módulo Pu11r de parte del PLC 135 de la cortadora, el cual le indica a este módulo, cuando subir o bajar el rodillo, el momento para manejar la alta o baja velocidad, así como también el momento de manejar el modo alivio del rodillo. Referencia (Valmet paper, 1990).

El Pu11r es un módulo electrónico especializado y preajustado diseñado para recibir los diferentes comandos y actuar en consecuencia para cumplir con la acción que se requiere realice el rodillo jinete.

El rodillo jinete es un elemento que contribuye para que la máquina bobinadora, cumpla la función para lo que fue diseñada, cortar y embobinar rollos en diferentes medidas (longitud, ancho y diámetro), según los requerimientos de los clientes.

Los rollos deben reunir ciertas cualidades físicas idóneas para soportar los procesos, a los que serán sometidos posteriormente, como el manejo durante las maniobras de almacenamiento, embarque y el manejo adicional del cliente que los procesa.

Tabla.2.12 Comandos del PLC 135 al Módulo Pu11r.

MODO RODILLO JINETE (R.J)	R.J BAJAR/ SUBIR	R.J RÁPIDO/ LENTO	R.J ALIVIO	PGR 1 AUTO	PGR 2 AUTO	PGR 3 AUTO	ALIVIO EN MANUAL
ARRIBA	0	0	0	0/1	0/0	0/1	0/1
BAJAR RÁPIDO	1	1	0	0/1	0/0	0/1	0/1
BAJAR LENTO	1	0	0	0/1	0/0	0/1	0/1
ALIVIO	1	0	1	0/1	0/0	0/1	0/1
ALIVIO PGR 1	1	0	1	1	0	0	0
ALIVIO PGR 2	1	0	1	0	0	0	0
ALIVIO PGR 3	1	0	1	0	0	1	0
ALIVIO MANUAL	1	0	1	0	0	0	1
SUBIR RÁPIDO	0	1	0	0/1	0/0	0/1	0/1
SUBIR LENTO	0	0	0	0/1	0/0	0/1	0/1

NOTA: R.J, significa Rodillo Jinete.

Entre otras, una cualidad importante es la dureza, se deben evitar las variaciones repentinas en la dureza del rollo, ya que pueden dañar la estructura general del mismo. Las variaciones repentinas se pueden dar por cambios súbitos en la carga de los motores, presión del jinete, tensión de la hoja, cambios bruscos de velocidad, diferencias transversales en el calibre del papel. Por lo anterior, todos los controles están relacionados entre sí para dar la adecuada dureza del rollo.

2.2.3.6.3. Importancia del Rodillo Jinete.

El jinete está montado sobre una viga pesada para una mayor estabilidad y un mejor control, la viga se desplaza hacia arriba y hacia abajo, a lo largo de las guías montadas en el marco de la cortadora y bobinadora, los bastidores de engranajes tipo cremallera instalados en el marco a ambos lados están enganchados o en contacto con los engranes de piñón que van montados en la viga y asegurados a un solo eje transversal, asegurando la alineación adecuada de la viga en todas las posiciones, las ruedas de trinquete están montadas en el mismo eje transversal, los trinquetes están enganchados por candados conectados a cilindros neumáticos, que actúan como cerraduras de seguridad para evitar la bajada accidental de la viga del rodillo jinete (Valmet paper, 1990).

Cilindros de alivio, cuando el rodillo jinete descansa sobre las bobinas que están siendo enrolladas, vaya a la fig. 2.38 dónde se aprecia esta condición, los cilindros hidráulicos ayudan a aliviar el peso del rodillo y su viga manteniendo la presión del nip entre los rollos y los tambores de bobinado a un nivel casi constante. Los cilindros están conectados directamente a la viga del rodillo jinete, para asegurar una resistencia mínima y un control máximo de la presión del rodillo jinete en todo momento.

Como se ve, se han cuidado los detalles en la parte física de montaje y operación del rodillo jinete, con la finalidad de lograr un buen desempeño dinámico de este, durante el embobinado de los rollos, esto es ya un reflejo de la importancia del rodillo jinete en la cortadora.



Figura.2.38 Imagen de Rodillo Jinete Presionando un Rollo.

Solo basta resaltar la importante función del rodillo en la cortadora de dos tambores, dónde el jinete y su control de fuerza sobre los rollos ayudan a lograr rollos embobinados con la dureza adecuada. La dureza es una característica (que ya ha sido abordada con anterioridad en este escrito, en el capítulo II subtítulo 2.2.2.4.2) que es vital para mantener la integridad de los rollos en su transporte y almacenamiento, además, importante para asegurar la calidad de los siguientes procesos, a los que va destinado el rollo.

Adicional, el rodillo jinete cumple funciones de seguridad, pues ayuda a mantener los rollos sobre los tambores de embobinado, evitando que estos salgan proyectados fuera de la cortadora.

Salvo otros puntos, creo los dos tratados son suficientes para justificar la necesidad y la importancia del rodillo jinete, en la cortadora y bobinadora de dos tambores.

2.2.3.6.4. Programas Automáticos de Alivio del Jinete.

La bobinadora está equipada con un rodillo jinete, este constituye uno de los sistemas servo controlados, muy útil para obtener rollos bien embobinados, que tengan una buena conformación, presentación y dureza.

Por medio de una unidad electrónica Pu11r, se cuenta con la opción de controlar de modo manual la presión de alivio del rodillo jinete, además, este módulo tiene la posibilidad de manejar diferentes programas automáticos de alivio, usados para el embobinado de rollos de diferente ancho y diámetros. Con los programas automáticos se controlan los valores de presión en el nip (el nip se forma entre el rodillo jinete y los rollos) adecuados dependiendo de cada circunstancia.

Los programas automáticos están preajustados, para el control de la presión ejercida sobre el rollo conforme aumenta su diámetro. En estos programas factores como la posición del rodillo jinete, el torque de los tambores, deben tenerse en cuenta para el buen desempeño en el control de alivio del jinete. Cada programa está diseñado para crear una presión de nip más o menos constante en el tambor, aproximadamente igual a la presión que se creará al final del set, para un determinado tamaño final de los rollos.

Los programas ajustan automáticamente, la presión de alivio del rodillo jinete a medida que aumenta el diámetro y el peso del rollo en formación, la presión de alivio disminuye durante la primera parte del set lo que permite que el peso del jinete presione con más fuerza sobre los rollos, una vez que las bobinas salen del hueco de enrollamiento entre los tambores y comienzan a apoyarse sobre los tambores, luego a medida que los rollos continúan aumentando su diámetro y peso la presión de alivio del jinete también aumenta para ayudar a levantar el rodillo jinete y evitar que presione demasiado sobre

los rollos de papel, hacia el final del set el rodillo jinete habrá aliviado casi completamente, lo que significa que la presión de alivio se elevó hasta el punto, en que la mayor parte del peso del rodillo jinete es soportado por los cilindros hidráulicos, en lugar de que lo soporten los rollos de papel.

Programa 1, es el más ligero y la presión del rodillo contra el rollo es mínima. Se recomienda para rollos pequeños (32").

programa 2, es el programa medio cuando se cortan rollos (40").

programa 3, es el más pesado, se usa para rollos de tamaño grande (50-60") los rollos grandes.

Los rollos obtienen suficiente dureza con estos programas, la carga en los extremos del rodillo jinete es controlada por los cilindros hidráulicos, la referencia es generada automáticamente y varía en función de la posición vertical del rodillo jinete.

La carga inicial del rodillo jinete, se usa para producir un centro apretado en el rollo y la carga se reduce conforme aumenta el peso del rollo. Para regular la presión de alivio del rodillo jinete el sistema toma en cuenta la posición vertical del rodillo; la cuál es medida con un potenciómetro (Valmet paper, 1990).

Adicional, a los programas de alivio automático la máquina cuenta también con una opción de ajuste manual.

Programa manual, se usa un potenciómetro para ajustar la carga del rodillo jinete en forma manual; ajustes realizados a criterio y experiencia del operador de la máquina.

La única opción que funciona es el modo manual, los programas automáticos no están operando en esta máquina, el trabajo consiste en hacer lo necesario para habilitarlos.

2.2.4. Control del Rodillo Jinete, Basado en PLC.

El propósito del PLC es controlar la velocidad del rodillo jinete, cuando este desciende o cuando asciende (modo bajar y modo subir) y el control de presión dentro de los cilindros cuando el rodillo jinete está operando en el modo alivio. Referencia (Valmet Appleton, 1990).

Un bloque lógico en el programa determina el modo de operación que está activo y este modo determina el comportamiento del rodillo jinete, en tanto no ocurra un cambio en la lógica que desactive el modo actual y active otro. Se describen los diferentes modos operativos, en los que puede trabajar el jinete en un momento dado.

Modo subir, en este modo el rodillo jinete se eleva hasta alcanzar la posición más alta (posición de casa) y se queda ahí en espera, para evitar que el rodillo descienda de forma inesperada se activan los candados y la válvula direccional de seguridad.

Modo bajar, en este modo el rodillo jinete desciende hasta posarse sobre los centros vacíos o sobre los rollos cuando el set ya está iniciado, al contacto automáticamente se activan las condiciones para el modo alivio (modo presión).

Modo alivio (presión), en este modo el rodillo jinete descansa sobre la parte superior de los rollos o sobre los centros vacíos, pero parte del peso del rodillo es aliviado o soportado por los cilindros hidráulicos del rodillo, el monto del peso a ser aliviado o soportado en un momento dado es controlado por el PLC, de conformidad con las selecciones hechas por el operador y las condiciones actuales de la bobinadora.

Modo rotura de hoja, este es un caso especial del modo alivio, al estar la máquina en operación normal y se presenta una reventada de la hoja, el rodillo jinete debe permanecer en reposo apoyándose sobre la parte superior de los rollos hasta que la máquina detenga su marcha, además, el peso aliviado por los cilindros es fijado en un nivel específico, para asegurar el apropiado desempeño del rodillo bajo las condiciones abruptas de la rotura de hoja, el rodillo jinete actúa como elemento de seguridad que mantiene los rollos sobre los tambores.

Modo prueba, en este modo el aceite que entra y sale de los cilindros hidráulicos del rodillo jinete, es controlado por un potenciómetro de ajuste manual, este modo es útil para pruebas y ajustes de mantenimiento (Valmet Appleton, 1990).

Los bloques de funciones corriendo en él PLC, generan los comandos para controlar el flujo y la presión requeridos por los cilindros del rodillo jinete, basándose en el modo activo del rodillo jinete y las condiciones actuales de la bobinadora.

Una válvula especial de control proporcional al recibir los valores de referencia se encarga de mantener las condiciones de flujo y presión deseadas de conformidad con los cálculos efectuados. Los cálculos son influenciados o afectados por el diámetro de los rollos en formación en la zona de embobinado.

El PLC calcula el diámetro del rollo utilizando para ello, la medición de la posición vertical o altura del rodillo jinete (medida con el potenciómetro de posición).

El PLC calculará la fuerza aplicada por el jinete, pues la bobinadora no cuenta con celdas de carga para la medición directa.

Cuando el jinete está en modo alivio, la presión dentro de los cilindros hidráulicos del rodillo, es controlada tomando en cuenta el diámetro de los rollos y una de las siguientes selecciones hechas por el operador (Valmet Appleton, 1990).

- a) curvas de alivio automáticas 1, 2 o 3.
- b) Potenciómetro de alivio manual.

Para que se generen los cálculos adecuados; el PLC debe alimentarse con la información correcta acerca de la bobinadora como es:

- a) Diámetro de los tambores.
- b) Diámetro de los cilindros hidráulicos.
- c) Tamaño y tipo de centros que están en uso.
- d) Separación entre tambores.
- e) Posición del rodillo jinete.
- f) Ancho del rollo.

- g) Si se presentó rotura de la hoja.
- h) Tipo de alivio manual o automático.
- i) Máquina girando o en reposo.

2.2.4.1. Tipos de Datos Manejados en el PLC.

Los parámetros (datos mecánicos del rodillo jinete y de la máquina bobinadora), son almacenados en la memoria del PLC, son organizados en bases de datos y deben estar disponibles para los diferentes cálculos matemáticos, se cuenta también con bases de datos para almacenar los valores de carga preestablecidos del rodillo jinete, para los diferentes programas 1,2 o 3, seleccionables, una para cada programa.

En las bases de datos, habrá dos tipos de parámetros.

Datos tipo 1, estos datos no pueden modificarse forzando nuevos valores directamente dentro de las bases de datos, ya que estos valores son modificados en cada ciclo de escaneo por la lógica de programa. Estos datos, pueden modificarse únicamente cambiando dicha lógica en el programa, lo cual exige tener un buen conocimiento de la lógica y del proceso, de lo que se quiere hacer y de las consecuencias que pueden resultar después de dicha modificación (Valmet Appleton, 1990).

Ejemplo de datos tipo 1:

- a) tamaño de los centros (diámetro).
- b) dimensiones mecánicas de la cortadora.
- c) límites por software para controles.
- d) parámetros de ajuste para las funciones generadoras de curvas.
- e) entre otros.

Datos tipo 2, estos datos, si pueden modificarse forzando nuevos valores directamente dentro de las bases de datos; estos datos no son controlados por la lógica del programa (Valmet Appleton, 1990).

Los datos del tipo 2, se deben modificar solo si tienes un buen conocimiento de cómo cada dato es manipulado y como afecta en la lógica del programa y en el proceso.

Ejemplos de datos tipo 2:

- a) valor mínimo del potenciómetro de posición.
- b) valor máximo del potenciómetro de posición.
- c) Velocidad mínima flujo de subida.
- d) Velocidad máxima flujo de subida.
- e) Velocidad mínima flujo de bajada.
- f) Velocidad máxima flujo de bajada.
- g) entre otros.

2.2.4.2. Programar el Nuevo Control por PLC.

Es necesario editar un código de programa para el PLC, así cuando el PLC ejecute cíclicamente este código, realizará el control de los movimientos y de la fuerza del rodillo jinete conforme a las necesidades propias de la operación de la máquina.

El programa se realizará, en el editor s7-manager.

Step 7, es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización Simatic-Step 7. (Siemens(3), 2006), Forma parte del software industrial Simatic.

El software estándar Step 7, presenta las siguientes variantes.

Step 7-Micro/DOS y Step 7-Micro/Win, para aplicaciones independientes y sencillas en sistemas de automatización Simatic-S7-200.

Step 7, para aplicaciones en sistemas de automatización Simatic S7-300/400, Simatic

M7-300/400 y Simatic C7 con funciones básicas y ampliadas, se hace uso del Manual Programar con step7 (Siemens(1), 2006).

La codificación del programa se hará en el ambiente de programación, simatic manager step7 profesional v5.6. Utilizado para programar las plataformas de PLC'S de la gama 300 y 400 (Siemens(2), 2006), (Siemens(4), 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODO.

Se plantean una serie de pasos a seguir, para generar los avances necesarios, que conduzcan a buen término la actualización del sistema de control del rodillo jinete. Este listado de pasos, no necesariamente marcan la secuencia de ejecución, lo que se busca es englobar en lo posible todas las actividades que son necesarias para el cumplimiento de los objetivos, que finalmente, permitan dar una solución a la problemática planteada.

3.1. Pasos Para Seguir para Cumplir las Metas.

El esquema de bloques de la figura 3.1, engloba las actividades necesarias, para el cumplimiento de las metas.

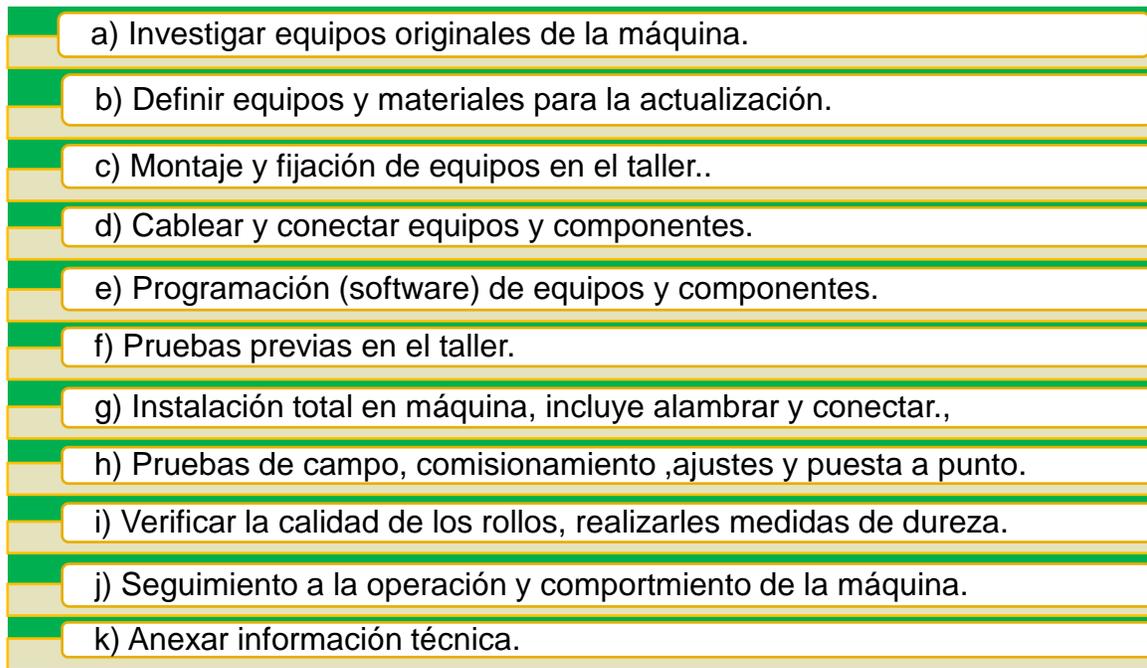
- 
- a) Investigar equipos originales de la máquina.
 - b) Definir equipos y materiales para la actualización.
 - c) Montaje y fijación de equipos en el taller..
 - d) Cablear y conectar equipos y componentes.
 - e) Programación (software) de equipos y componentes.
 - f) Pruebas previas en el taller.
 - g) Instalación total en máquina, incluye alambrar y conectar.,
 - h) Pruebas de campo, comisionamiento ,ajustes y puesta a punto.
 - i) Verificar la calidad de los rollos, realizarles medidas de dureza.
 - j) Seguimiento a la operación y comportamiento de la máquina.
 - k) Anexar información técnica.

Figura.3.1 Serie de Pasos para Alcanzar las Metas.

Se amplía la información de los pasos, conforme a su letra correspondiente:

- a) Conocer el equipo instalado en la máquina, investigar sus principios, secuencias, ubicación, identificación, comportamiento y lógica de operación; así, como la forma de manipularlos por parte del operador de la máquina. Investigar en diferentes fuentes (bibliográficas, hojas y manuales técnicos), lo relacionado con el sistema de control del rodillo jinete instalado en la máquina bobinadora, con la finalidad de sustentar su manejo, utilidad y comportamiento.
- b) Definir equipos y materiales, que se utilizarán en la actualización de lo que se tiene instalado. Planear, tomando en cuenta que el proceso es gradual, por los tiempos que esto implica y tener en cuenta que se necesita hacer la mejor adaptación posible, para que no demerite la capacidad y desempeño de esta máquina. Seleccionar los equipos o componentes que actualizarán al sistema original, dando prioridad a lo que se tenga en existencia en almacén de planta o reutilizar equipos con el fin de optimizar y abatir costos.
- c) Realizar actividades de fijación y montaje en el taller, para crear plataformas de prueba.
- d) Realizar cableados y conexiones, para interconectar los equipos.
- e) Programar los equipos que por su naturaleza lo amerite, editar software, definir lógica y funciones necesarias para que los equipos las ejecuten.
- f) Realizar las pruebas necesarias previas a la instalación, pruebas en el taller de hardware y software.
- g) Instalar equipos en la máquina, además, de todos los alambrados y dispositivos externos que conectan con el control central.
- h) Hacer las pruebas de campo que comprende todas las pruebas previas al arranque, los ajustes, mediciones y puesta a punto de todos los equipos y dispositivos, incluye afinar también las secuencias operativas.

- i) Se realizarán mediciones de dureza en los rollos para verificar que pasan el criterio de calidad en lo referente a dureza. No olvidar que el objetivo de la rebobinadora es procesar rollos de calidad, que satisfagan las necesidades del cliente.
- j) Dar seguimiento a la máquina después de la puesta en marcha, verificar junto con el personal operativo que el comportamiento y desempeño de la máquina es el adecuado, que esté operando dentro de los parámetros planeados en la actualización del equipo, constatar que el nuevo control implementado, si contribuye con el buen desempeño y la confiabilidad del rodillo jinete, checar que el control sea funcional en modo automático y funcione también en manual que es una condición opcional.
- k) Generar la información técnica de apoyo para el personal operativo y de mantenimiento, para facilitar el conocimiento de las modificaciones realizadas, el análisis del equipo y la nueva forma de operar.

3.2. Controles de Origen para Manejo del Rodillo Jinete.

Identificar y ubicar el equipo auxiliar, que hace posible que el rodillo jinete cumpla su función, en la tabla 3.1 se listan los equipos encontrados y se anexa una imagen, facilitando su descripción. De estos equipos no todos se retirarán de la máquina, ni se sustituirán, continuarán en uso y será necesario modificar o agregar nuevos elementos. Respecto a la estructura mecánica del jinete (viga, rodillos, guías, correderas, piñones, cremalleras, candados de seguridad), no se modifica, los dos cilindros hidráulicos que soportan el conjunto del rodillo jinete se quedan igual, la unidad hidráulica y mandos operativos no cambian, pero se agregarán mandos nuevos, la válvula direccional de seguridad y la servo-proporcional se quedan igual, se anexa transmisor para medir presión en los cilindros hidráulicos, se retira completo el módulo de control electrónico Pu11r, será actualizado por un PLC.

Tabla.3.1 Equipos Auxiliares de Soporte al Rodillo Jinete.

<p>Estructura rodillo jinete</p> 	<p>Módulo electrónico Pu11r</p> 
<p>Mandos operativos</p> 	<p>Unidad hidráulica</p> 
<p>Cilindros hidráulicos</p> 	<p>Candados de seguridad</p> 
<p>Válvula hidráulica tipo servo y válvula direccional de seguridad.</p> 	

3.3. Equipos y Materiales para Actualizar el Control.

En la actualización del sistema de control del rodillo jinete, se utilizarán equipos y materiales que se tengan en la empresa; bajo la premisa de usar lo que haya disponible en almacén o talleres. En la (tabla 3.2) se muestra un listado con ilustraciones de los equipos y materiales empleados, para la actualización del sistema electrónico en el control del rodillo jinete, en esta misma tabla se tiene una columna con la descripción de los equipos y materiales, también se agregaron las herramientas necesarias.

Tabla.3.2 Equipos y Materiales para Actualizar Control del Jinete.

Tabla 3.2 Equipos, Materiales,Herramientas para Actualizar(Continuación)	
DESCRIPCIÓN	IMAGEN REPRESENTATIVA
Programador para PLC'S con software Step7 y step 5 de siemens	
Cables de comunicación, para puerto MPI step 7 y cable TTY para step 5	
Tablillas de conexión atornillables, tablillas porta-fusible, puentes para interconectar tablillas	
Relevadores de contacto seco, con voltajes de activación de 24vcd	

Tabla 3.2 Equipos, Materiales, Herramientas para Actualizar(Continuación)

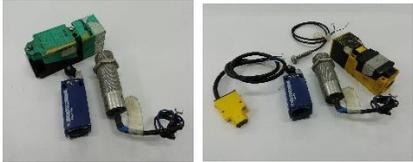
DESCRIPCIÓN	IMAGEN REPRESENTATIVA
Conexiones de acero inoxidable para manejo de fluido hidráulico	
Alambrados para las interconexiones, terminales tipo espada, etiquetas para identificar los cables (alfanuméricas)	
Rieles para montar tablillas de conexión, relevadores, cinchos de sujeción, tablillas, puentes.	
Sensores inductivos, interruptores de límite, sensores fotoeléctricos (ya instalados)	
Displays para visualizar información del proceso digitales 7 segmentos y analógicos (ya instalados)	
Transmisor de presión de rango ajustable con salida analógica, equipo para medición de presión hidráulica (se instalará)	

Tabla 3.2 Equipos, Materiales, Herramientas para Actualizar (Continuación)

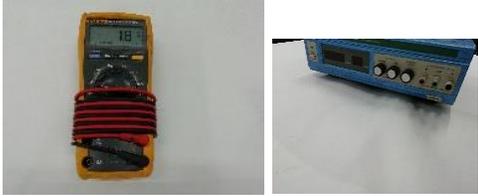
DESCRIPCIÓN	IMAGEN REPRESENTATIVA
Resistencias variables tipo potenciómetro.	
Cajas para tablas de conexiones,	
Selector digital, del diámetro externo del centro de cartón en pulgadas (se instalará)	
Interruptores selectores, botoneras, lámparas indicadores (ya instalados)	
<p>Multímetro, fuente de poder (se instalarán)</p> <p>Fuente de +/- 15VDC</p> <p>Fuente de + 24 VDC</p>	

Tabla 3.2 Equipos, Materiales, Herramientas para Actualizar(Continuación)

DESCRIPCIÓN	IMAGEN REPRESENTATIVA
<p>Herramientas: segueta, martillo, lima, pinzas (pelacables, punta, corte) desarmadores, taladro, equipo para soldar, llaves pericas, llaves mixtas, lámpara.</p>	
<p>Materiales: libreta, pluma, lápiz, calculadora, flexómetro, cinta aislante, cinta tape, casco, guantes, tornillería, tuercas, arandelas, protector auditivo, lentes de seguridad, tarjeta de seguridad</p>	
<p>Válvulas hidráulicas todo/nada, interruptores de presión, válvula servo de control proporcional P-Q (ya instaladas)</p>	
<p>Controlador lógico programable Simatic s5 135 (ya instalado)</p>	

Tabla 3.2 Equipos, Materiales, Herramientas para Actualizar(Continuación)

DESCRIPCIÓN	IMAGEN REPRESENTATIVA
<p>Controlador lógico programable Simatic s7 400 (se instalará)</p>	
<p>Unidad hidráulica, fuente de poder hidráulico (ya instalada)</p>	
<p>Cilindros hidráulicos (ya instalados)</p>	
<p>Cilindros neumáticos, para el control de los candados del rodillo jinete, electroválvula neumática (ya instalados)</p>	
<p>Rodillo jinete (ya instalado)</p>	

4. DESARROLLO Y RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron en las diferentes pruebas y mediciones que se realizaron sobre la máquina y su proceso, se presentan en el presente capítulo.

4.1.Instalación General de Equipos

En el desarrollo de las actividades lo primero fue definir, ubicar, reunir los equipos, materiales y herramientas a utilizar. Los adecuados para obtener los resultados que propicien el cumplimiento de las metas, que lleven a solucionar el problema de control del rodillo jinete.

4.1.1.Actividad de Fijación y Montaje en el Taller

Se procede a fijar en la platina de montaje, todos los dispositivos y componentes para conformar el rack del PLC. En la (figura 4.1), se muestra el PLC siemens 400 utilizado, este rack incluye la fuente de poder, la CPU, las tarjetas digitales y analógicas; tanto de entradas como de salidas. Referencia de instalación (Siemens(2), 2006).



Figura.4.1 Fotografía de PLC s7 400 de Siemens.

Las características técnicas de los diferentes componentes, que conforman el rack del PLC 400, se exponen en la (tabla 4.1).

Tabla.4.1 Componentes en el Rack del PLC 400.

Equipo:	Características:
Fuente de poder	PS-407, 20 Amp
Unidad central de procesamiento	CPU 416-2
Tarjeta de entradas digitales	DI 32 x DC 24v
Tarjeta de salidas digitales	DO 32 x DC 24v / 0.5 A
Tarjeta de entradas analógicas	AI 8 x 16 bit 431-7KF00-OAB0
Tarjeta de salidas analógicas	AO 8 x 13 bit 432-1HF00-OAB0

4.1.2. Realizar Cableados y Conexiones.

Un PLC hace uso de diferentes módulos para establecer contacto con las variables y condiciones del proceso que está controlando, estas variables pueden ser de tipo digital o analógico.

Las entradas/salidas (E/S) digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir un nivel mínimo de tensión se interpreta como “0” lógico y un nivel máximo se toma como “1” lógico. Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario.

Las entradas y salidas analógicas toman cualquier valor dentro de un rango determinado que especifica el fabricante. Se auxilian de convertidores análogo/digital (A/D) y digital/análogo (D/A), los convertidores están aislados de la CPU (realizan su

función de forma independiente). Estas señales analógicas se manejan a nivel de byte, palabra, doble palabra (8/16/32 bits) dentro del programa de usuario.

Las E/S son leídas y escritas dependiendo del modelo del PLC y del fabricante, es decir pueden estar incluidas sus imágenes dentro del área de memoria o ser manejadas a través de instrucciones específicas de E/S.

En la instalación física del PLC, es necesario llevar hasta los bornes de conexión de las diferentes tarjetas; las señales digitales o analógicas provenientes de los componentes instalados en la máquina, en los tableros de control o que vienen de otros PLC'S, también es necesario llevar a dónde se requiera las señales de salida digital o analógica del PLC.

Para lograr lo anterior se utilizan rieles sobre los que se montan tablillas de conexión atornillables, esto permite interconectar las señales de entrada y las de salida a las tarjetas del PLC, así como también la conexión, de los diferentes voltajes de las fuentes de poder a todos los dispositivos involucrados.

En la figura 4.2 se ven las tablillas de conexión, utilizadas para unir eléctricamente los diferentes componentes. Referencia conexiones (Siemens(2), 2006).



Figura.4.2 Conexiones Eléctricas del PLC.

4.1.3. Pruebas Previas a la Instalación.

Es importante que previo a poner en marcha un equipo nuevo, este pase por pruebas e inspecciones de banco en el taller, representados en la figura 4.3 que aseguren que tendrá un comportamiento adecuado, pruebas eléctricas y de programa.

Se realizaron las conexiones y se verificó la continuidad de punto a punto, con el fin de eliminar falsos contactos, ya que estos pueden ocasionar serios dolores de cabeza al momento de que se presenten fallas o errores en el comportamiento del equipo.

Se desarrolló una edición base del código de programa; tomando como ejemplo y referencias los programas de otra bobinadora de mayores dimensiones, que ya maneja el control del rodillo jinete basado en PLC. No fue posible parametrizar en su totalidad el programa, en el trabajo de banco en el taller, esto debe hacerse al pie de la máquina con el PLC instalado y funcionando. Con las señales de E/S conectadas, con el programa del CPU corriendo y la máquina en condiciones de poderse probar y operar.



Figura.4.3 Trabajos de Taller Previos a la Instalación.

4.1.4.Instalar Equipos en la Rebobinadora.

Para la instalación de los equipos en la máquina se tendrán dos tipos de actividades:

- a) Las que se pueden realizar en operación normal, sin necesidad de que la máquina este en paro prolongado.
- b) Las actividades que necesariamente tendrán que realizarse con la máquina en paro y/o sin suministro eléctrico.

La ubicación física del PLC, se vio la conveniencia de instalarlo en el espacio que antes ocupaba el antiguo control, afortunadamente las dimensiones físicas del espacio lo permitieron. Se aprovecharon y reutilizaron muchos de los cableados que utilizaba el módulo Pu11r. El PLC, quedo instalado en la parte inferior de la consola de control principal, en esta consola quedo instalado también el selector de tamaño de centro de cartón y el display indicador de la posición del rodillo jinete.

El transmisor de presión una vez ajustado en el taller; en su rango de medición de 0 a 210 bar y su salida analógica de 0 a 10vdc, se instaló a un lado de la servo-válvula, por las ventajas que ofrecía esta posición al conectar la toma hidráulica al transmisor de presión.

Se instalo en el panel principal de la máquina el display indicador, de la posición del rodillo jinete y el botón selector del tipo de centro de cartón a utilizar durante el embobinado de los rollos, con el selector se indica al PLC el diámetro del centro en pulgadas.

Se instalaron los alambrados necesarios para interconectar los dos PLC, el de la cortadora el s5-135 y el s7-400, se instalaron las fuentes de poder de 24 vcd y la fuente de +/- 15 vcd.

Quedo instalado y funcionando el PLC siemens 400, que actualizó el control original. Los diagramas de bloques presentados en la sección 4.1.5, muestran cómo funciona la lógica de control por PLC para el rodillo jinete

4.1.5. PLC Principal y PLC del Jinete.

El nuevo sistema de control del rodillo jinete basado en PLC, se observa en el siguiente esquema a bloques de la figura 4.4, dónde aparecen los dos PLC'S de la bobinadora, el principal S5 135 y el nuevo PLC S7 400 que controla el jinete.

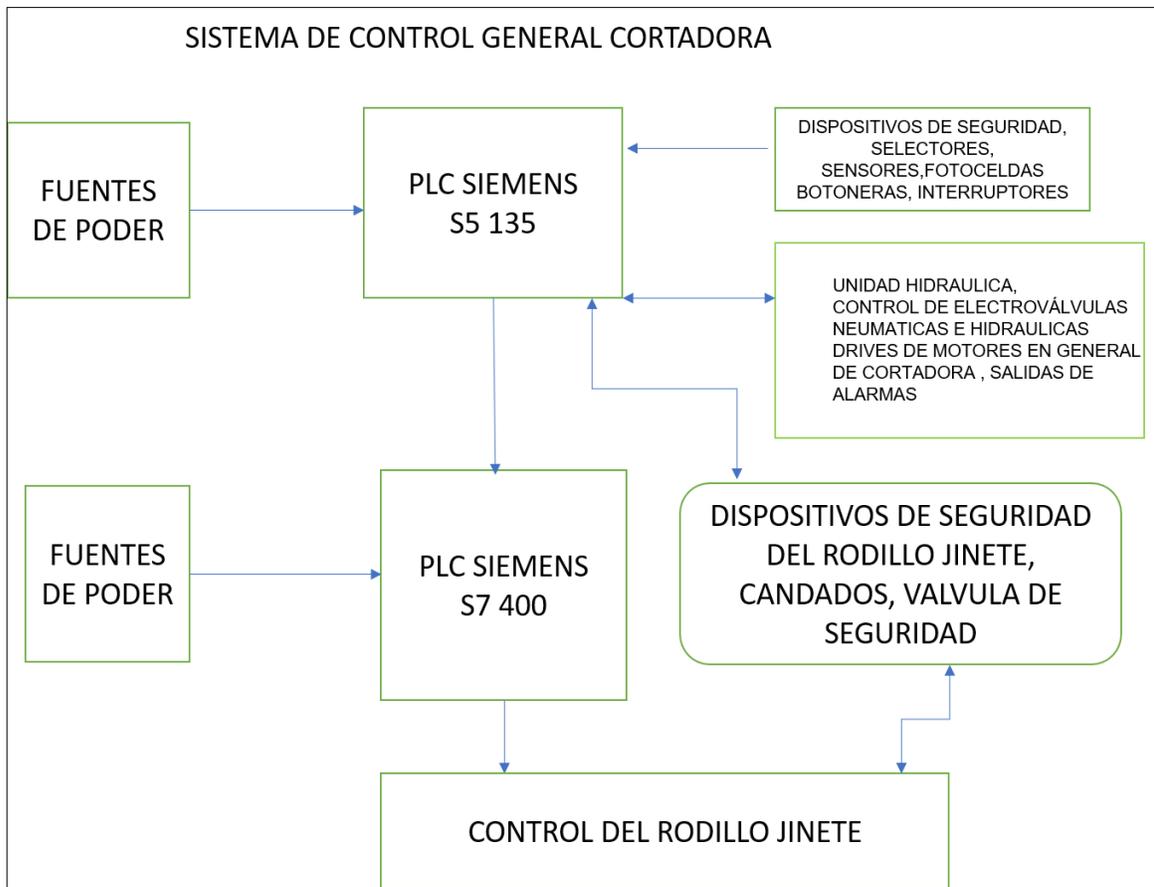


Figura.4.4 Interconexión PLC del Jinete con PLC Principal.

4.1.6. PLC 400 y sus Conexiones.

Las conexiones externas del PLC del jinete, a las fuentes de poder y las señales de entrada o salida, se representan en forma esquemática en la figura 4.5 y se agrega una imagen física dónde se aprecia el PLC, con sus diferentes componentes y la regleta de puntos de conexión entre el PLC con los elementos de campo y las diferentes fuentes de voltaje que proveen la potencia eléctrica al sistema, esto se observa en la figura 4.6, dónde se presenta una fotografía del equipo.

También fue necesario instalar las protecciones eléctricas necesarias, en la alimentación principal de 110 Vac regulado se instaló un filtro para eliminar frecuencias indeseadas, se instaló protección termomagnética y fusibles de acción rápida para proteger las fuentes en caso de presentarse una sobrecarga.

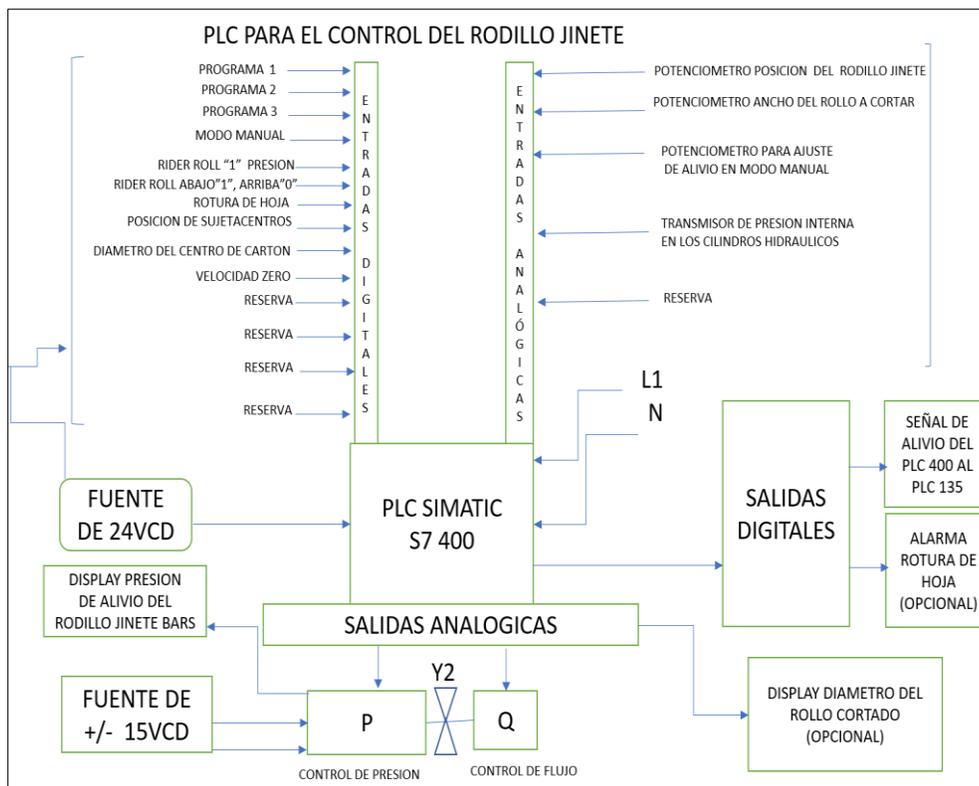


Figura.4.5 Entradas y Salidas al PLC 400.

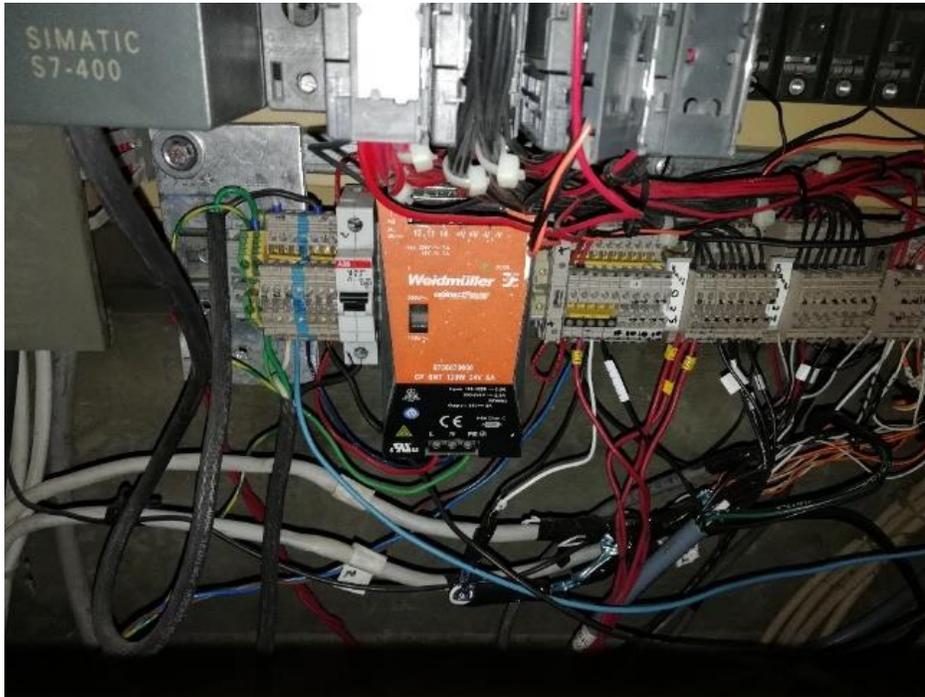


Figura.4.6 Conexiones Físicas E/S al PLC 400.

4.1.7. Entradas Analógicas al PLC del Jinete.

Las señales analógicas de entrada al PLC-400, se tienen que limitar eléctricamente a un rango adecuado en nuestro caso de 0 a 10 Vcd, la entrada de posición del rodillo jinete, la entrada de ajuste manual de carga del rodillo jinete, la entrada de ancho del rollo que se va a cortar, las tres entradas se generan utilizando potenciómetros.

La alimentación de estos potenciómetros es con +24 Vcd, es necesario entonces hacer el uso de las resistencias adecuadas como divisores de voltaje, para ajustar el rango de voltaje entre 0 a +10 Vcd aproximadamente al girar el potenciómetro variable en su rango de trabajo.

En el programa del PLC 400 es necesario también, aplicar acondicionamiento a las diferentes entradas analógicas, para obtener datos numéricos en unidades de ingeniería, de las diferentes variables utilizadas en los cálculos. Cálculos que permiten

lograr que el rodillo jinete se comporte de forma útil, en cada etapa del proceso de embobinado.

Se puede observar en los esquemas de las figuras 4.7 y 4.8, que en el código del programa es necesario ejecutar funciones de escalamiento y funciones para convertir el valor de entrada de 0 a 10 vcd a su correspondiente unidad de ingeniería para su posterior uso en cálculos.

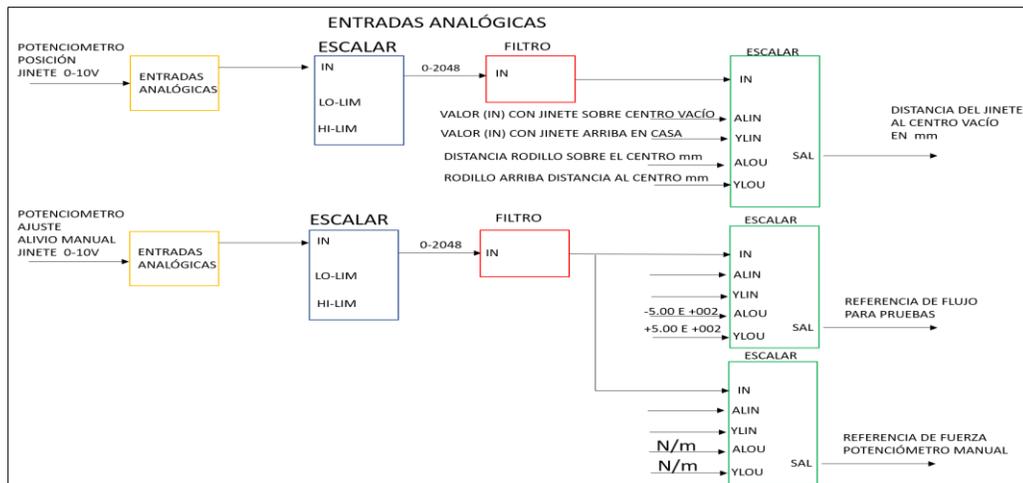


Figura.4.7 Acondicionamiento Señal de Posición y Alivio.

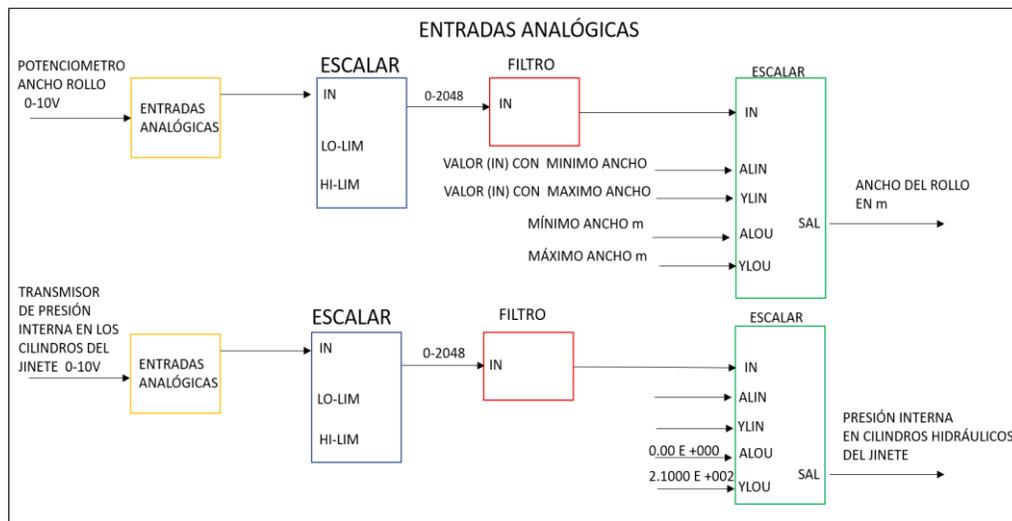


Figura.4.8 Acondicionamiento de Señal de Ancho y Presión.

4.1.8.Pruebas y Mediciones en Máquina.

Una vez instalados todos los equipos se procedió a interconectarlos eléctricamente y alimentarlos con los voltajes de operación adecuados. Se realizó la puesta en marcha y se observó el comportamiento de arranque para descartar errores e indicaciones de alarmas.

Si todo se encuentra en orden, es el momento de iniciar las pruebas necesarias ya con la máquina, con el fin de poner a prueba el programa y parametrizarlo de forma adecuada y así poder evaluar el desempeño de los nuevos equipos instalados.

Estas pruebas preliminares fueron de gran utilidad ya que permitieron detectar fallos, en la codificación del programa y determinar los cambios necesarios para corregirlos.

Manejando el rodillo jinete en el modo prueba, fue posible determinar la presión a la cual el rodillo jinete se queda suspendido en un punto fijo o este asciende muy lentamente, a esta presión se le denomina PFLO (presión de flotación), la PFLO es útil para determinar el límite de presión de alivio, que se aplica a los cilindros hidráulicos, sin llegar al punto en que el rodillo se levante y pierda contacto con el rollo en formación. La PFLO es igual a 87.9 Bar, por seguridad la presión máxima de alivio aplicable a los cilindros hidráulicos es la PFLO-1.5, es decir;

Presión alivio máxima = PFLO – 1.5

Presión alivio máxima = 87.9 bar – 1.5 bar

Presión alivio máxima = 86.4 bar

El valor de 86.4bar, es solo para ejemplificar; este valor puede variar un poco dependiendo de las necesidades de la máquina.

Con este modo de prueba del rodillo jinete, fue posible configurar los potenciómetros de posición del rodillo jinete, el potenciómetro del alivio en modo manual, el potenciómetro ancho del rollo y el transmisor de presión.

4.2. Calcular Diámetro del Rollo en Formación.

El cálculo de diámetro del rollo se realiza en el PLC, basado en la siguiente geometría desplegada en la figura 4.9.

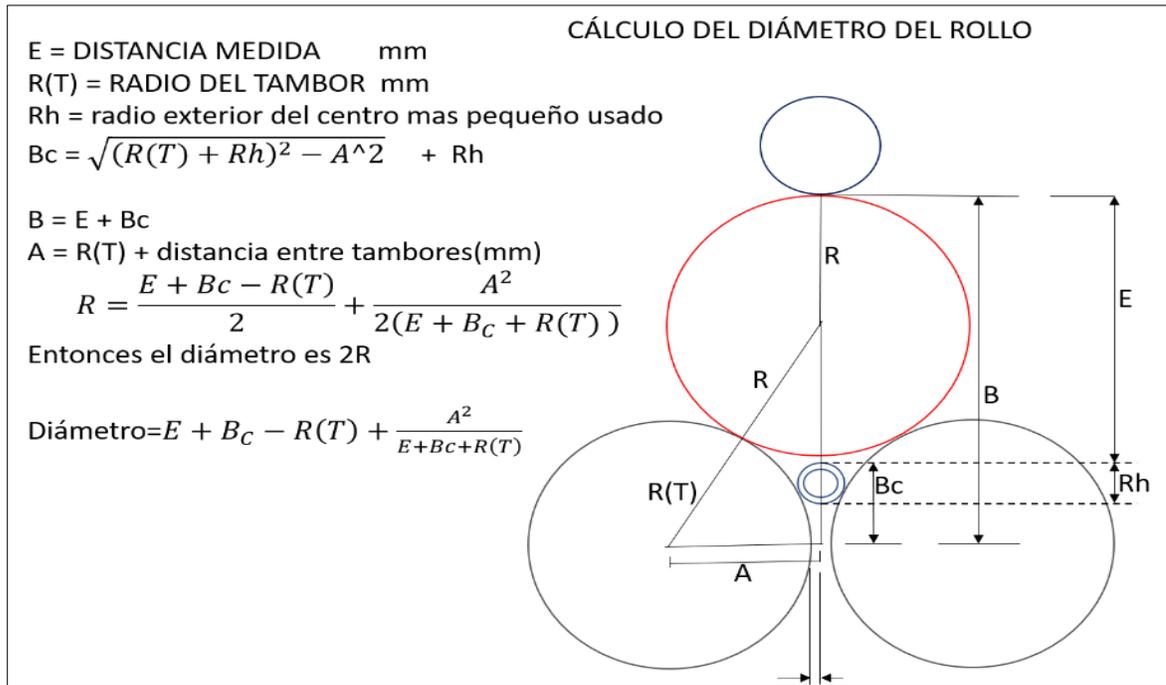


Figura.4.9 Geometría Para Calcular el Diámetro del Rollo.

El PLC realiza el cálculo del diámetro del rollo en formación, utilizando la medición de posición del rodillo jinete y la geometría propia de la bobinadora de dos tambores de la figura 4.9. Para calcular el diámetro del rollo, el programa corre la ecuación (4.1).

$$\text{Diámetro} = E + Bc - R(T) + \frac{A^2}{E + Bc + R(T)} \quad \text{Ec.4.1}$$

Dónde, E es el valor medido de la posición del rodillo jinete.

El PLC obtiene el diámetro del rollo en mm y lo utiliza para activar el valor de referencia de la curva de carga del jinete correspondiente al diámetro calculado, pues las curvas de carga varían conforme al diámetro del rollo en formación.

Al activar el modo subir del jinete, se usa la posición vertical del rodillo en mm para realizar el cálculo de error entre la posición del rodillo y el objetivo por alcanzar, en este caso es la posición superior o posición de casa, en la figura 4.11 la línea roja (V_{Pi}) indica que cuando la distancia al objetivo es grande la velocidad del jinete es alta y cuando el error es pequeño la velocidad hace un cambio a velocidad lenta, de modo que el jinete termina su recorrido lentamente.

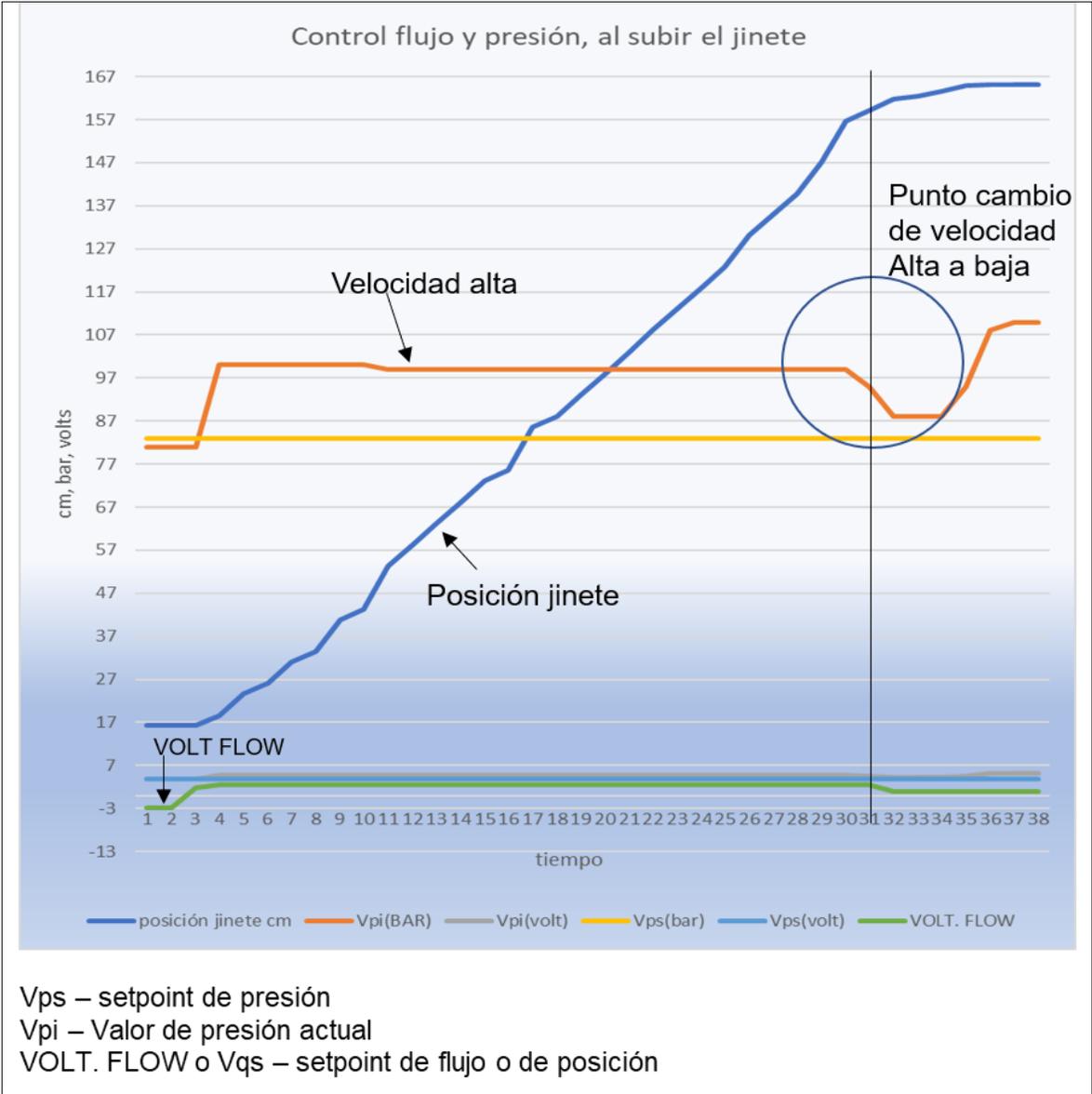


Figura.4.11 Comportamiento de Presión y flujo en el modo subir.

Para el control del modo bajar del jinete, se toma la medición de su posición vertical (en mm) para realizar el cálculo del error entre la posición del rodillo y el objetivo por alcanzar. El programa selecciona el objetivo apropiado en el movimiento hacia abajo en función de la posición de los sujetadores de centros.

Si los sujetadores están abajo, indican un nuevo set y centros nuevos, si no están ni arriba ni abajo, indican un set ya iniciado con un rollo de determinado diámetro sobre los tambores, si los sujetadores de centros están arriba no hay permiso para bajar el rodillo jinete.

Según la posición del rodillo y el objetivo por alcanzar, cuando el valor del error en la distancia es grande, la referencia de control de flujo tiende al valor máximo (que es el valor de velocidad máximo prefijado) y cuando el valor del error es menor que el mínimo, la salida permanece en el valor de velocidad mínimo prefijado. Se pueden observar estas condiciones en la figura 4.12. Cuanto más se acerca el rodillo jinete a su objetivo, menor es la referencia de flujo activándose la velocidad lenta. Esto asegura que el rodillo estará viajando rápido al principio y más despacio a medida que se acerca al final de su recorrido.

En la figura 4.12 al observar la línea azul que indica la posición del jinete, al iniciar el descenso está en el valor más alto, marcando el jinete en la posición superior e ira disminuyendo paulatinamente al ir bajando el jinete.

Siguiendo la línea amarilla V_{pi} en Bars, al inicio del descenso presenta una rampa de caída en la presión para que el rodillo alcance su velocidad máxima de bajada, mientras el error para alcanzar el objetivo es alto, la presión se mantiene relativamente fija aproximadamente 56 bar, al cumplirse el valor prefijado de error al objetivo, la presión empieza a incrementarse conforme a su (setpoint V_{ps}) y la velocidad del rodillo tiende a disminuir. De modo que próximo al objetivo, se activa la referencia de flujo para velocidad lenta (línea verde V_{qs}), de tal manera que el rodillo termina haciendo contacto con el objetivo despacio, lo que es bueno para evitar un golpe o daño. El objetivo es el rollo en caso de estar iniciado el set o centros de cartón al iniciar una nueva corrida.

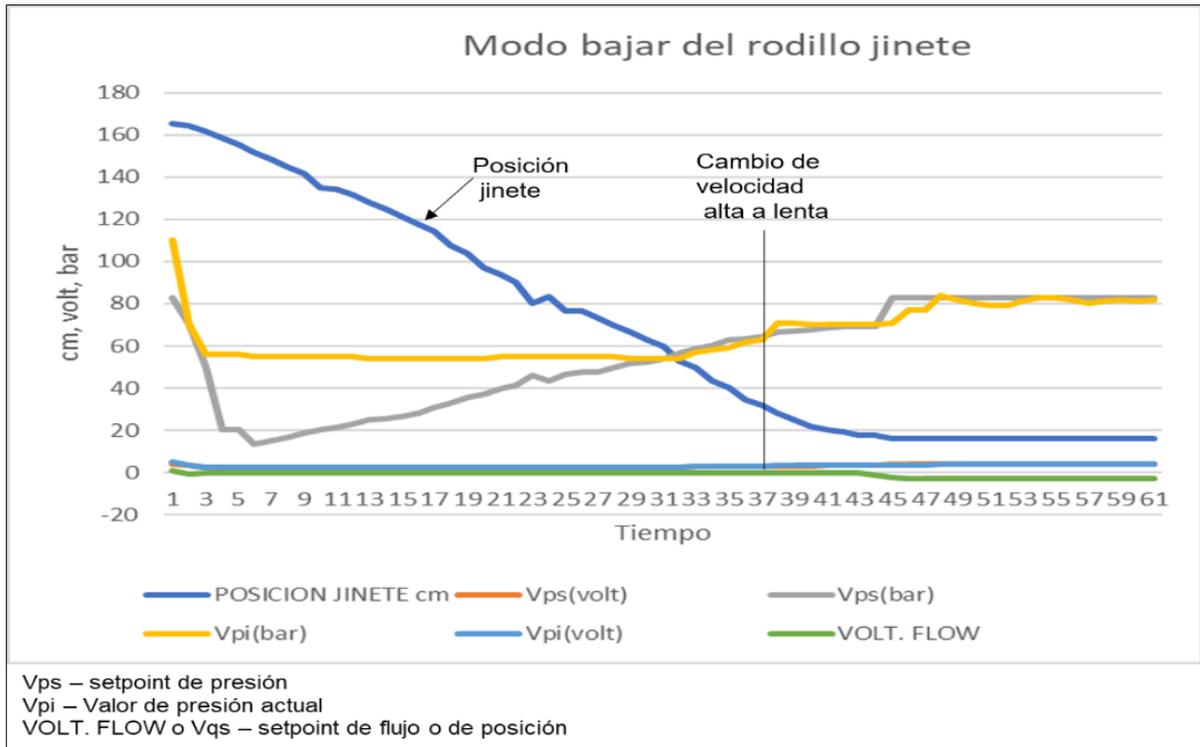


Figura.4.12 Comportamiento Presión y Flujo en el Modo Bajar.

4.4. Selección Tipo de Centros de Cartón.

Es necesario que el operador indique al PLC del rodillo jinete, el tipo de centro que se va a utilizar y sobre el cual se embobinará el rollo. Para ello, se instaló en el panel de operación un selector para el tipo de centro, la selección se hace conforme al diámetro exterior en pulgadas y representan en el selector un 3, 4, 5, 6 que corresponden a centros de 3, 4, 5, 6 pulg. de diámetro exterior respectivamente.

La selección correcta es importante, pues el programa del PLC tomará en cuenta este dato para calcular el diámetro del rollo y generar la presión de alivio adecuada, también se usa para calcular el error entre la posición del rodillo jinete y su objetivo cuándo baja el jinete sobre un centro vacío.

El diagrama operativo del programa en el PLC, para procesar el tipo de centro a utilizar se presenta en la figura 4.13. Con entrada digitales se activa una función selectora para determinar el tipo de centro a usar.

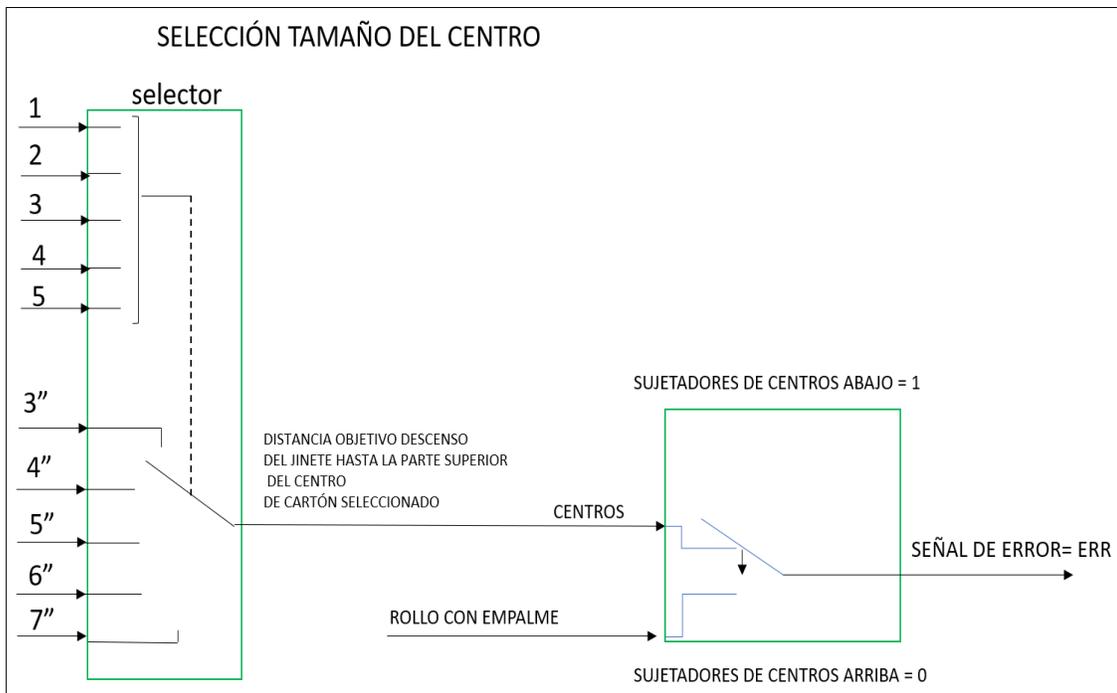


Figura.4.13 Selección del Tamaño de Centro a Utilizar.

El selector del tipo de centro a usar es un actuador numérico y quedo instalado en el panel principal de la máquina, manda señal a una entrada digital específica del PLC. una entrada para centros de 3", otra para el de 4", otra para el de 5" y así sucesivamente, la figura 4.14 ejemplifica este tipo de selector.



Figura.4.14 Imagen Selector de Centros.

La figura 4.15 muestra el display en dónde se despliega, el valor numérico de la posición vertical del rodillo jinete en milímetros y a un lado del display se aprecia el selector del tipo de centro a usar.



Figura.4.15 Display Posición del Jinete y Selector de Centros.

4.5. Conmutar al Modo Alivio del Jinete.

Al encontrarse el rodillo jinete en el modo bajar, ya sea que vaya a descender para posarse sobre un centro nuevo o sobre un rollo que está a medio terminar debido a una rotura de hoja y el operador realice un empalme para continuar el embobinado del rollo, hasta su diámetro correcto. Al hacer contacto el rodillo con un centro nuevo o con un rollo, es necesario que el control conmute del modo bajar al modo alivio.

La conmutación se logra al tomar en cuenta dos condiciones:

- a) Que el error de posición del rodillo jinete con respecto a su objetivo sea mínimo.
- b) Que el control detecte que el rodillo jinete ha dejado de moverse o su velocidad es pequeña.

El programa de control hace uso de la posición del jinete, cuando el valor de posición deja de cambiar y el valor del error de distancia al objetivo es lo suficientemente pequeño, entonces es posible cambiar al control de presión o alivio.

Estas comparaciones se realizan en la lógica del programa, se usa el disparo de una interrupción (alarma cíclica) OB36, que se activa cada 50ms para fijar un periodo de tiempo (DT) y ver si durante ese periodo la medición de posición del jinete (DX) presenta cambios o no y comparar el cambio con un valor mínimo prefijado. Esta revisión la hace cada vez que se dispara el OB36, es decir cada 50 ms, para ello, va guardando la posición actual del jinete en memoria y la compara con la nueva posición del jinete para obtener la magnitud del cambio, que representa el monto del desplazamiento del rodillo, así puede detectar cuándo el rodillo jinete está disminuyendo mucho su velocidad de bajada. Cuando el rodillo hace contacto con un centro vacío o un rollo en proceso, la magnitud del cambio en el desplazamiento se vuelve menor que un valor prefijado, en ese momento se activa el modo alivio (presión) del rodillo jinete, esta lógica del PLC, se presenta en el diagrama funcional de la figura 4.16.

El modo alivio es detectado por el PLC 400 y este se lo comunica al PLC 135 para que lo tome en cuenta, en el manejo de condiciones de seguridad del rodillo, la liberación de los candados y los permisos para arrancar la máquina.

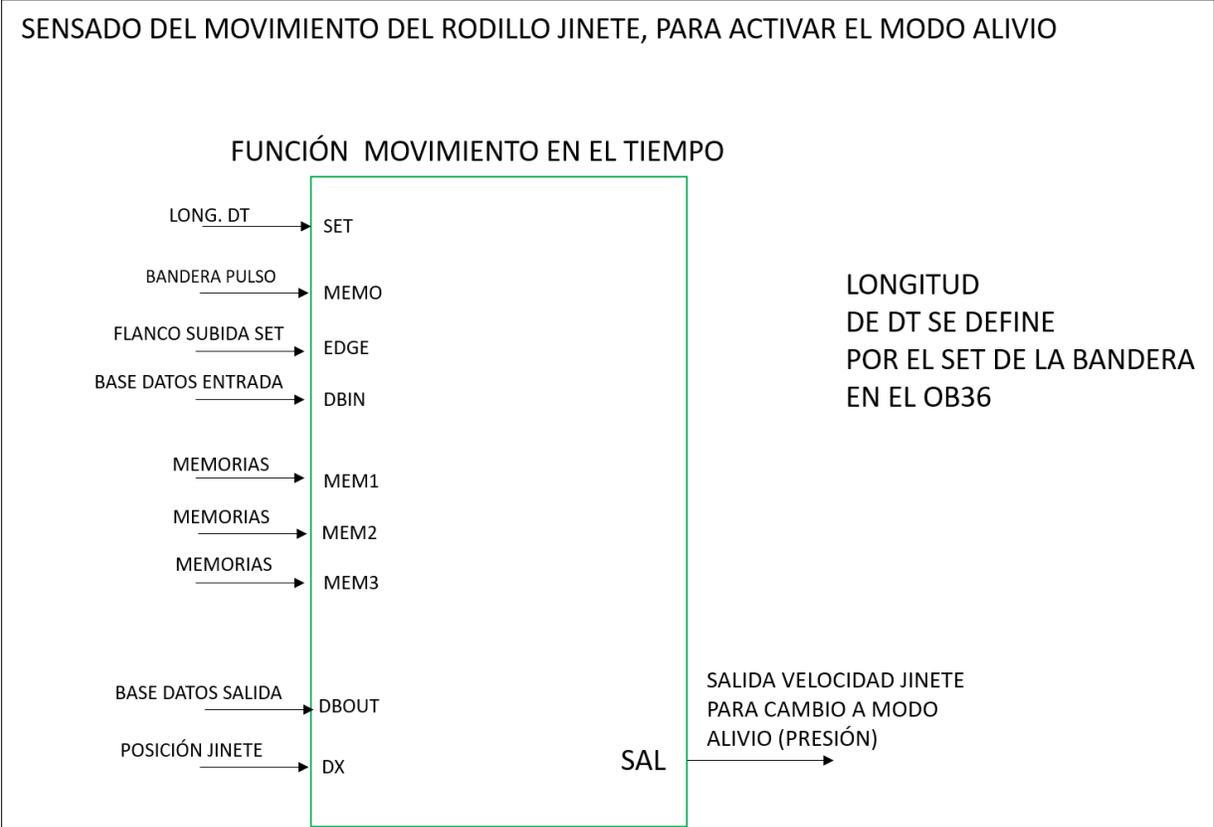


Figura.4.16 Detección de Velocidad Mínima del Jinete.

4.6. Control de Presión, Previo Cambio al Modo Alivio.

La figura 4.17 muestra los bloques funcionales, para el manejo de la presión en el modo bajar. Cuando el rodillo está bajando previo a pasar al modo alivio, se maneja una referencia de presión para la servo-válvula, en función del error de la distancia que tiene que recorrer el rodillo hasta su objetivo, de modo que, si la distancia por cubrir es grande, la referencia de presión es pequeña y conforme esa distancia al objetivo disminuye se incrementa la referencia de presión y aumenta la presión en los cilindros hidráulicos, con el fin de ir preparándose para pasar al modo alivio. El aumento en la presión de los cilindros provoca una desaceleración en el descenso del rodillo, debe buscarse que el valor de referencia de presión aumente de tal manera que no interfiera con la alta velocidad de descenso del jinete, porque si el valor de referencia de presión sube demasiado pronto perturbará el descenso rápido.

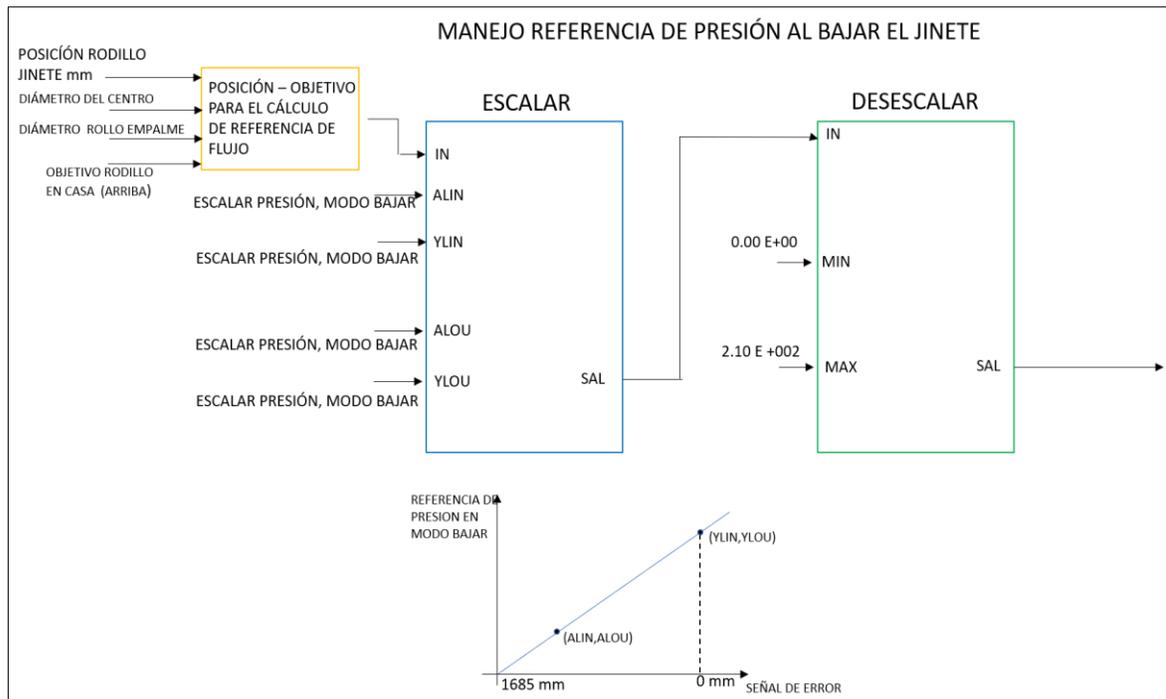


Figura.4.17 Referencia de Presión en el Descenso del Jinete.

El programa selecciona un objetivo de movimiento hacia abajo apropiado, en función de la posición de los sujetos centros, el objetivo puede ser un centro nuevo o un rollo ya iniciado, el control de presión al descender el jinete, se grafica en la figura 4.18.

Cuando inicia el modo bajar, las rampas hacen que los valores de referencia pasen suavemente al valor deseado, partiendo de cualquier valor que haya quedado del modo anterior que fue el modo subir, pero este modo no tiene efecto sobre la referencia de presión, por lo tanto, el valor de referencia del modo alivio que fue anterior al de subir, es el que sirve como el valor de inicio de la rampa, cuando se activa el modo bajar del rodillo jinete. Al activarse el modo bajar, una referencia de flujo grande propicia una caída de presión y un descenso rápido del rodillo al principio. Considerando el escalamiento inverso de la presión, graficado en la figura 4.17, si al inicio del modo bajar, la distancia por cubrir para alcanzar el objetivo es grande, el setpoint de presión V_{PS} (línea gris) es pequeño (figura 4.18) y va incrementando lentamente, de modo, que cerca del final del recorrido cuando el error al objetivo es pequeño, el setpoint línea gris y la presión en los cilindros V_{PI} (línea amarilla), están preparados para el cambio del jinete al modo alivio, cuándo el rodillo haga contacto con el objetivo

Cuando el rodillo jinete cambia del modo bajar a la presión de alivio (modo alivio) como se indica en la figura 4.18, cuándo este cambio se da, la referencia del flujo se va lentamente al valor máximo (velocidad máxima hacia abajo), esta operación puede provocar que el jinete rebote al hacer contacto con el núcleo de cartón o un rollo en proceso, si lo hace, el tiempo de la rampa para esta función de referencia de flujo debe aumentarse lo suficiente, después de que se haya completado la rampa, este valor se convierte en una señal constante que se envía al lado del flujo de la válvula tipo servo durante el modo de alivio.

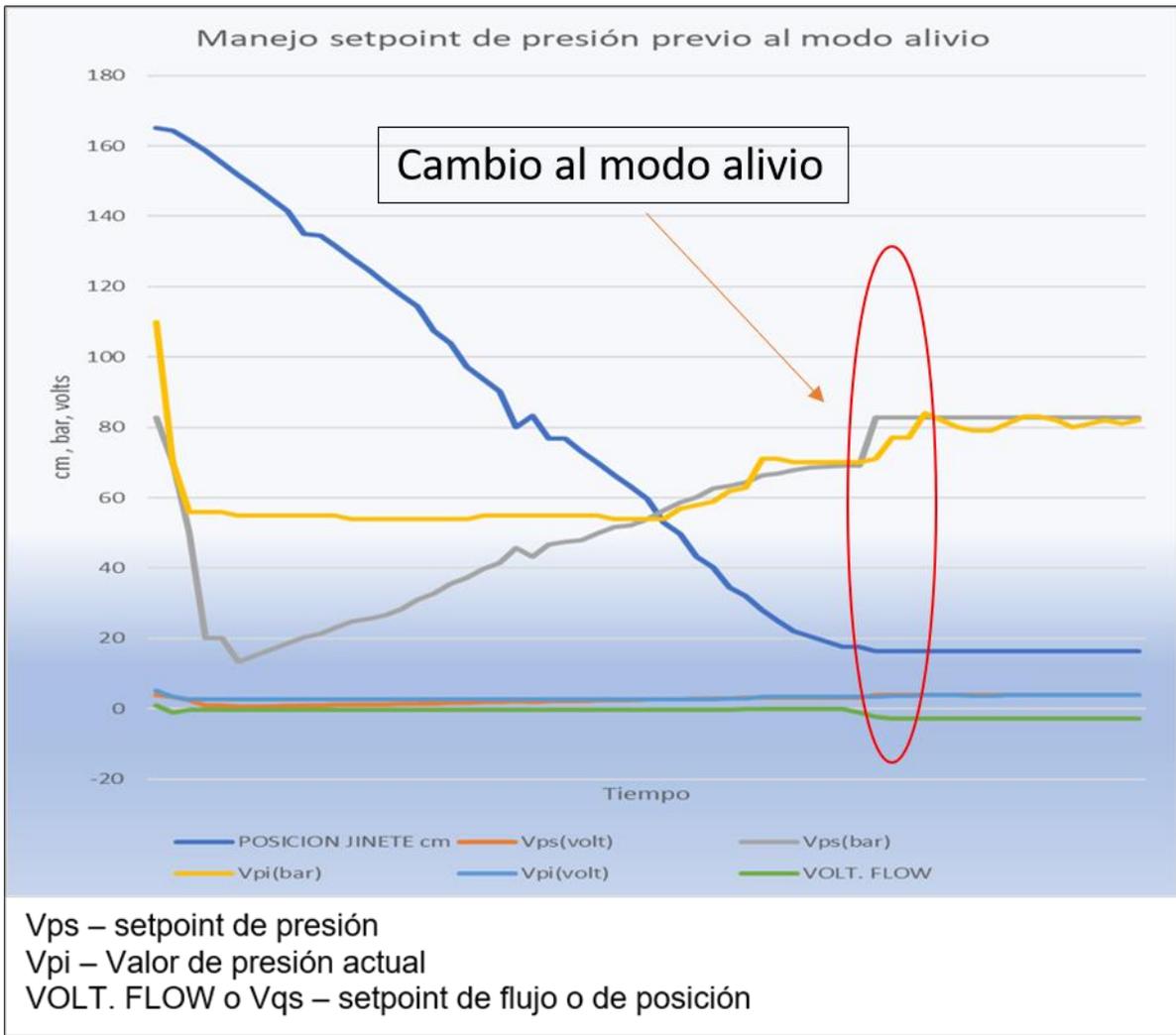


Figura.4.18 Referencia Presión para Preparar el Modo Alivio.

4.7. Modos de alivio para el Rodillo Jinete.

Para manejar el rodillo jinete en el modo alivio, es necesario fijar los valores de referencia de fuerza lineal, para ello, el operador realiza algunas actividades, la explicación se apoya con las figuras, 4.19, 4.20 y 4.21.

Haciendo uso de los controles del panel principal (figura 4.19), el operador puede seleccionar, uno de cuatro posibles valores como referencia de fuerza lineal, estas cuatro opciones son:

Los programas automáticos, programa 1, programa 2, programa 3 y una cuarta opción es la referencia de fuerza lineal, fijada por el operador en modo manual usando un potenciómetro en la figura 4.19 se especifican estos mandos para el manejo del jinete y su descripción.

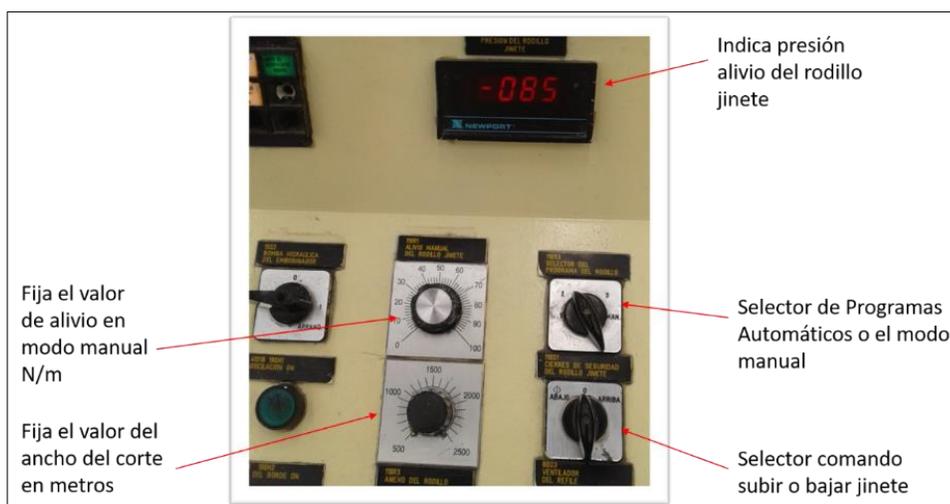


Figura.4.19 Controles para Mando del Rodillo Jinete.

La información de los tres programas automáticos se almacena en bloques de datos del PLC, para que estén disponibles cuando se requieran, si el operador selecciona uno de los tres programas automáticos (1, 2, o 3), se activa el bloque de datos que

corresponde al programa de alivio seleccionado y el programa del PLC generará la referencia de carga lineal adecuada, en función del diámetro del rollo que se está embobinando.

Los valores de carga lineal (N/m) respecto al diámetro del rollo, de los tres programas de alivio automático del rodillo jinete, corresponden respectivamente, a cada una de las tres curvas que aparecen en la figura gráfica 4.20, los valores que generan cada una de estas curvas se tomaron de la información original de la máquina, proporcionada por el fabricante (Valmet, 1990).

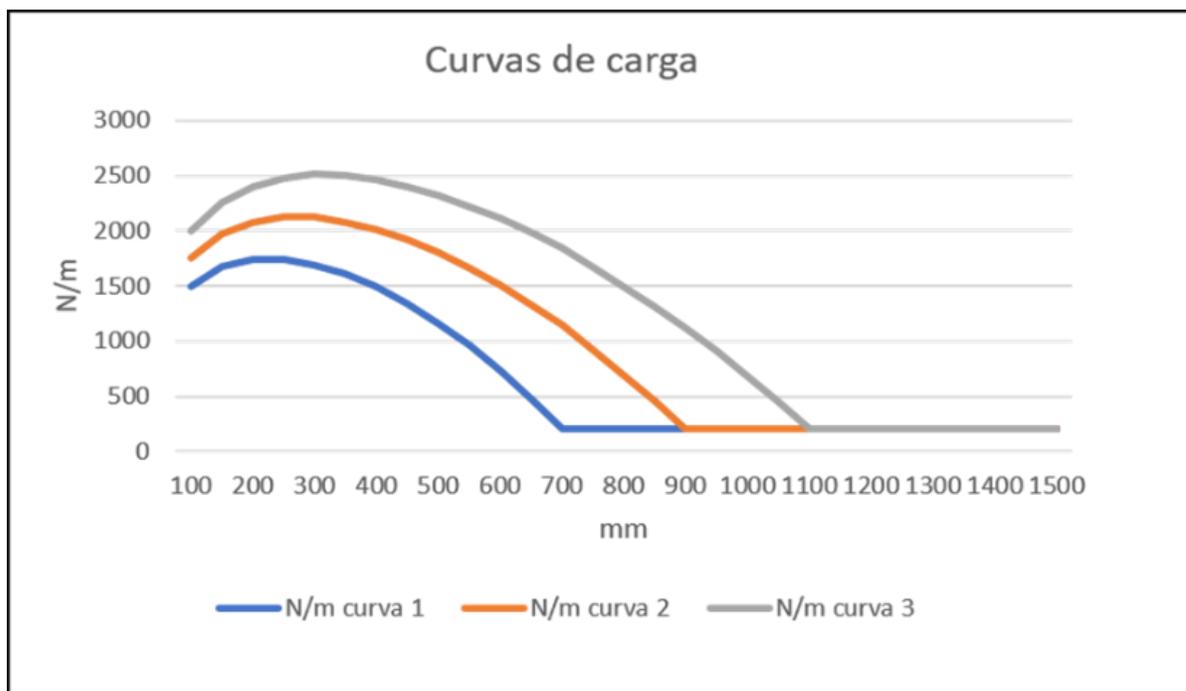


Figura.4.20 Curvas de Carga para el Rodillo Jinete.

El programa del PLC como se muestra en la figura 4.21, se asegura de que el valor de referencia seleccionado por el operador esté por encima de un cierto nivel mínimo requerido, para mantener el rodillo jinete haciendo contacto con el rollo en formación y evitar que este se despegue, esto es importante por seguridad para que los rollos

mantengan su lugar en los tambores y que no afecte el buen embobinado, para ello, el programa toma en cuenta la PFLO del rodillo jinete y un rango de seguridad.

Finalmente verifica si se ha detectado una condición de rotura de hoja (banda de papel), al presentarse una rotura y la máquina está en velocidad de trabajo, el valor de referencia seleccionado por el operador se reemplaza, por un valor fijo de referencia de fuerza lineal, esto asegura que durante la rotura de la banda de papel, la fuerza que aplica el jinete al conjunto de rollos, permanezca constante en un nivel adecuado, dadas las condiciones inestables que se presentan en casos de rotura.

Sin importar la fuente que genera el valor de referencia de fuerza lineal y que ha seleccionado el operador, al final, se obtiene el valor de la fuerza deseada en Newton, misma que aplicará el rodillo jinete sobre el rollo, previa multiplicación del ancho del rollo por la fuerza lineal.

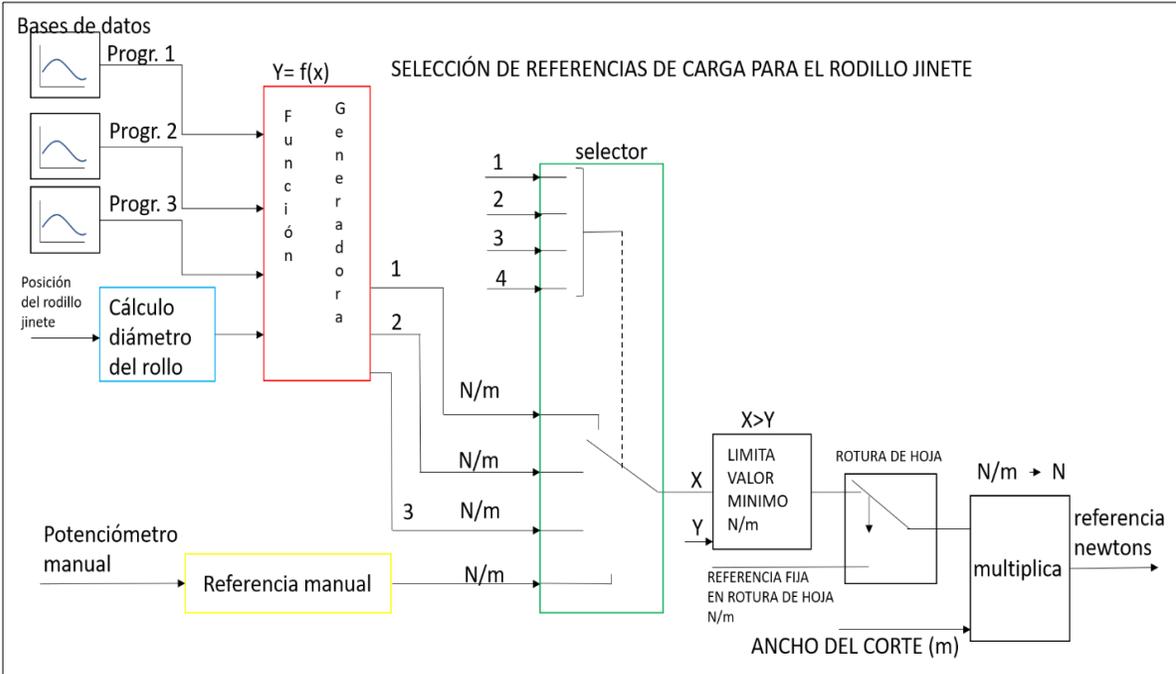


Figura.4.21 Modo de Alivio Automático y Manual.

4.8. Cálculo de Fuerza del Rodillo Jinete.

Se utiliza la presión medida en el interior de los cilindros hidráulicos y las dimensiones físicas de la cortadora, para calcular la fuerza (carga) que el rodillo jinete ejerce sobre los rollos en formación en un momento determinado.

La figura 4.22 es una representación de la configuración del rodillo jinete y sus diferentes elementos de control, aparece el transmisor de presión conectado a los cilindros hidráulicos en el punto para toma de medición y pasa el valor medido por conexión eléctrica al PLC en una entrada analógica, se observa el PLC, la servo-válvula para funciones de control del jinete, la válvula direccional como elemento de seguridad para evitar que descienda el jinete al apagarse la unidad hidráulica y evitar un accidente.

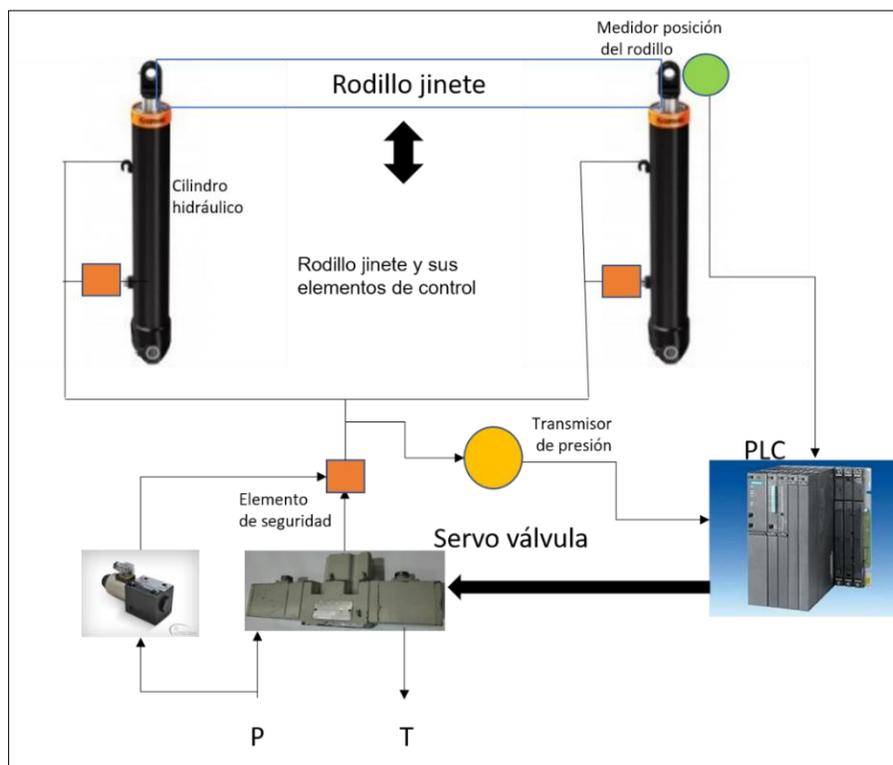


Figura.4.22 Elementos de Control del Rodillo Jinete.

4.8.1. Parámetros de la Cortadora para Uso en Cálculos.

Los parámetros mecánicos para ajustes y cálculos en el programa de control del rodillo jinete y sus dimensiones físicas se enlistan en la tabla 4.2.

Tabla.4.2 Magnitudes Físicas Útiles para Cálculos.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Diámetro de los tambores	787 mm
Distancia entre tambores	25.4 mm
Diámetro pistón del rodillo jinete	63.0 mm
Diámetro de la flecha pistón del rodillo jinete	40.0 mm
Carrera total, pistones del rodillo jinete	1727 mm
Diámetro exterior del centro de cartón más pequeño	92 mm, 110 mm
Ancho de la hoja (rollo embobinado)	0.5 – 2.5 m
Presión de flotación del rodillo jinete PFLO	87.9 BAR
Límite presión de alivio máxima	83.9 – 86.4 BAR
Máximo viaje del rodillo jinete	1685 – 1700 mm

NOTA: El rodillo jinete cuenta con 2 cilindros hidráulicos, para proveer su movimiento vertical (ascenso, descenso y control de presión sobre el rollo en formación).

En la tabla 4.3 se listan parámetros útiles para el programa del PLC, son constantes y valores limite que es deseable no sobrepasar para evitar comportamientos erráticos del rodillo jinete, daños en el equipo, en el material en proceso e incluso provocar algún accidente. Tomados de los datos técnicos, de la otra rebobinadora de Pondercel.

Tabla.4.3 Parámetros de Programa del Rodillo Jinete.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Máxima medición de fuerza	3000 N/m
Máxima presión de manejo en los cilindros hidráulicos	210 BAR
Control de fuerza mínimo	-1000N
Control de fuerza máximo	+1000 N
Fuerza aplicada límite mínimo	200 N/m
Fuerza aplicada límite máximo	2530 N/m
Referencia de fuerza si rompe la hoja	1600 N/m

4.8.2.Cálculos del Rodillo Jinete Usados en el PLC.

En la figura 4.23 se observan los diferentes elementos que componen a un cilindro hidráulico, estos elementos y sus dimensiones son importantes para llevar a cabo en el programa del PLC cálculos muy útiles, para las tareas de control, tal y como aparecen en la tabla 4.4.

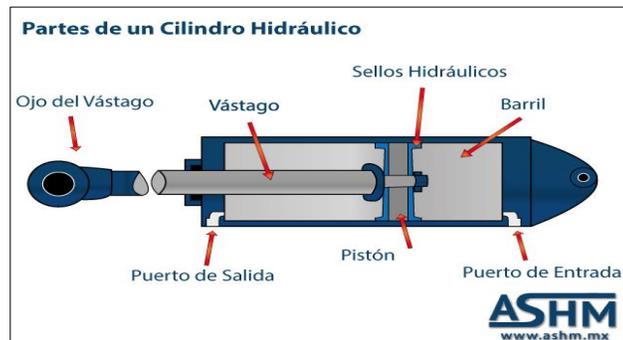


Figura.4.23 Vista en Corte de un Cilindro Hidráulico.

Tabla.4.4 Dimensión Cilindros Hidráulicos de la Rebobinadora.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Diámetro del Cilindro	63 mm
Diámetro del Vástago	40 mm
Carrera del Vástago	1727 mm
π	3.141593
G	9.815001 m/ s ²

4.8.2.1.Ecuaciones y Términos de Cálculo.

Al tomar en cuenta la geometría de construcción de los cilindros hidráulicos, es posible con el empleo de las relaciones adecuadas convertidas en ecuaciones, obtener datos adicionales valiosos, datos que son de utilidad para determinar posteriormente la dinámica del rodillo jinete.

El programa del PLC necesita ejecutar en sus códigos las ecuaciones, los datos arrojados por dichas ecuaciones, son utilizados para generar las referencias de flujo y presión para la válvula de control del rodillo.

La tabla 4.5 muestra las abreviaciones y su significado de términos utilizados en fórmulas, para el cálculo de áreas de trabajo y presiones de los cilindros hidráulicos del rodillo jinete, a la derecha están sus unidades métricas (Bassam, 2015).

Tabla.4.5 Términos para Cálculo de Áreas y Presiones.

ABREVIACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDADES METRICAS
BORE	Diámetro del cilindro	mm
ROD	Diámetro de la varilla del cilindro	mm
CAPWA	Área de trabajo del extremo de la tapa del cilindro	mm ²
RODWA	Área de trabajo del extremo de la varilla del cilindro	mm ²
CAPLFTPRS	Jinete, presión de elevación lenta en el extremo de la tapa del cilindro	bar
RODLFTPRS	Jinete, presión de elevación lenta en el extremo de la varilla del cilindro	bar
CAPPRS	Presión de control del rodillo jinete en el extremo de la tapa del cilindro	bar
RODPRS	Presión de control del rodillo jinete en el extremo de la varilla del cilindro	bar
WEIGHT	Peso del rodillo de jinete	N
WUTRIM	Ancho de recorte de papel al enrollar	m

4.8.2.1.1. Ecuaciones para Cálculo.

Las ecuaciones (4.2) (4.3) (4.4) (4.5) (4.6), son de utilidad para el cálculo de áreas, presiones, cargas, manejados por los cilindros hidráulicos (Bassam, 2015).

Ecuaciones para el Cálculo de Peso.

$$CAPWA = \frac{\pi \times BORE^2}{4} \quad \text{Ec.(4.2)}$$

$$RODWA = \frac{\pi \times (BORE^2 - ROD^2)}{4} \quad \text{Ec.(4.3)}$$

$$WEIGHT[N] = 0.1 * (RODWA * RODLFTPRS - CAPWA * CAPLFTPRS) * n * r \quad \text{Ec.(4.4)}$$

Ecuaciones para Cálculo de Carga del Rodillo Jinete.

$$RRLOAD(N/m) = \frac{WEIGHT + 0.1 * (CAPWA * CAPPRS - RODWA * RODPRS) * n * r}{WUTRIM} \quad \text{Ec.(4.5)}$$

$$RRLOAD(N) = WEIGHT + 0.1 * (CAPWA * CAPPRS - RODWA * RODPRS) * n * r \quad \text{Ec.(4.6)}$$

Para una WUTRIM de 1 metro.

Cada bobinadora dependiendo de su diseño, puede tener diferente configuración en la instalación de su rodillo jinete, tal como lo muestra la figura 4.24 (Bassam, 2015).

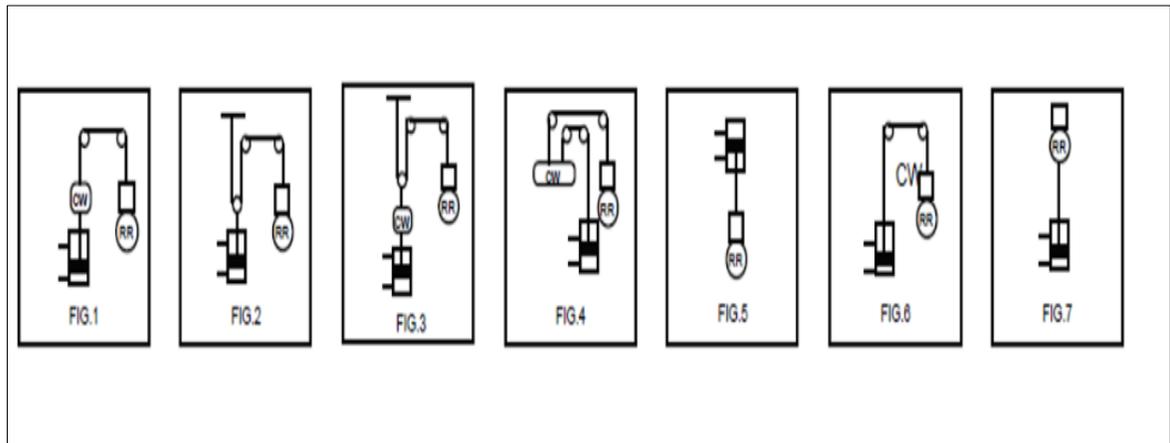


Figura.4.24 Configuraciones de instalación de un Rodillo Jinete.

Tabla.4.6 Factores a Usar por Configuración del Jinete.

FACTOR:	VALORES:
n	
1	para las figuras 2,3
2	para las fig. 1,4,5,6,7
r	
+1	para las fig. 1,2,3,5,6
-1	para las figuras 4,7

4.8.2.1.2. Cálculo Área de Trabajo, Extremo Tapa del Cilindro.

$$CAPWA = \frac{\pi \times BORE^2}{4} \quad \text{Ec.(4.2)}$$

$$CAPWA = \frac{(3.1416)(63mm)^2}{4}$$

$$CAPWA = 3117.25 \text{ mm}^2$$

Valor del CAPWA para un cilindro

$$CAPWA = 6234.5952 \text{ mm}^2$$

Valor del CAPWA para los dos cilindros, que es el doble del valor de un solo cilindro por ser cilindros dimensionalmente prácticamente idénticos.

4.8.2.1.3. Cálculo Área de Trabajo, Extremo Varilla del Cilindro.

$$RODWA = \frac{\pi \times (BORE^2 - ROD^2)}{4} \quad \text{Ec.(4.3)}$$

$$RODWA = \frac{3.1416[(63mm)^2 - (40mm)^2]}{4}$$

$$RODWA = 1860.6126 \text{ mm}^2$$

Valor RODWA para un cilindro

$$RODWA = 3721.2252 \text{ mm}^2$$

Valor RODWA para los dos cilindros, que es el doble del valor de un cilindro por ser cilindros dimensionalmente casi idénticos.

4.8.2.1.4. Cálculo Área Efectiva de Trabajo del Cilindro.

El área efectiva (A_{ef}) de empuje vertical de 1 cilindro, se obtiene restándole el RODWA al CAPWA.

$$A_{ef} = CAPWA - RODWA \quad \text{Ec.(4.7)}$$

$$A_{ef} = 3117.26 \text{mm}^2 - 1860.6126 \text{mm}^2$$

$$A_{ef} = 1256.64 \text{mm}^2$$

El área efectiva total (A_{eft}) de empuje vertical de los dos cilindros, se obtiene multiplicando por 2 el A_{ef} .

$$A_{eft} = 2 * A_{ef} \quad \text{Ec.(4.8)}$$

$$A_{eft} = 2 * 1256.64 \text{mm}^2$$

$$A_{eft} = 2513.28 \text{mm}^2$$

$$A_{eft} = 0.00251328 \text{m}^2$$

4.8.2.1.5. Cálculo Presión de Alivio del Jinete.

En la configuración de la máquina, los dos puertos de entrada en cada uno de los dos cilindros del rodillo jinete, están sometidos siempre al mismo valor de presión, se puede decir que:

$$CAPPRS = RODPRS$$

$$RRLOAD(N) = WEIGHT + 0.1 * (CAPWA * CAPPRS - RODWA * RODPRS) * n * r \quad \text{Ec.(4.6)}$$

Se define como PRESS, el valor igualitario de CAPPRS y RODPRS y se factoriza de la ecuación anterior como se muestra.

$$RRLOAD(N) = WEIGHT + 0.1 * PRESS(CAPWA - RODWA) * n * r$$

Al despejar el término PRESS de la ecuación queda:

$$PRESS(\text{bar}) = \frac{RRLOAD(N) - WEIGHT(N)}{0.1 * (CAPWA - RODWA) * n * r} \quad \text{Ec.(4.9)}$$

Donde:

PRESS = Presión requerida para obtener determinado valor de carga del jinete, representada con RRLOAD(N).

RRLOAD = Representa el valor de consigna de carga, el valor de carga deseado.

La configuración del rodillo, al buscar en la figura 4.24 (anterior) corresponde a la configuración número 7, por tanto, checando en la tabla 4.6 (anterior) los factores son.

$$n = 2$$

$$r = -1$$

4.8.2.1.6.Cálculo de Peso y Masa del Rodillo Jinete.

Calcular la fuerza (peso) del rodillo jinete si se conoce la presión de flotación (PFLO) del rodillo, PFLO es la presión que provoca que el rodillo suba en un movimiento muy lento.

Considerando que las presiones en los dos cilindros en ambos puertos de entrada son iguales, por lo tanto.

RODLFTPRS = CAPLFTPRS y que estas son iguales a la PFLO, todas dadas en bar.

$$WEIGHT[N] = 0.1 * (RODWA * RODLFTPRS - CAPWA * CAPLFTPRS) * n * r \quad \text{Ec.(4.4)}$$

Factorizar la ecuación (4.4) anterior, considere que PFLO= RODLFTPRS = CAPLFTPRS, al realizar el procedimiento de factorización la ecuación se transforma en lo siguiente.

$$\text{WEIGHT}[\text{N}] = 0.1 * \text{PFLO}(\text{RODWA} - \text{CAPWA}) * n * r \quad \text{Ec.(4.10)}$$

Dónde:

$$\text{PFLO} = 87.9 \text{ bar}$$

$$n = 2$$

$$r = -1$$

$$\text{RODWA} = 1860.6126 \text{ mm}^2$$

$$\text{CAPWA} = 3117.25 \text{ mm}^2$$

Desarrollando el cálculo de Fuerza(peso) con la ecuación 4.10, se tiene.

$$\text{WEIGHT}[\text{N}] = 0.1 * \text{PFLO}(\text{RODWA} - \text{CAPWA}) * n * r \quad \text{Ec.(4.10)}$$

$$\text{WEIGHT}[\text{N}] = 0.1 * 87.9(1860.6126 - 3117.25) * 2 * -1$$

$$\text{WEIGHT}[\text{N}] = (-1256.6374 \text{ mm}^2) * (-17.59 \text{ N/mm}^2)$$

$$\text{WEIGHT}[\text{N}] = 22,091.6854 \text{ N}$$

La fuerza calculada del rodillo jinete en Newtons, es de 22,091.6854 N.

Nota: Si se expresan RODWA y CAPWA en m^2 se multiplicará por 100,000 en vez de multiplicar por 0.1

Ahora calcule la presión en los cilindros en bar, considerando que la carga (fuerza) del rodillo jinete RRLOAD es de cero Newton.

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = \frac{\text{RRLOAD}(\text{N}) - \text{WEIGHT}(\text{N})}{0.1 * (\text{CAPWA} - \text{RODWA}) * n * r} \quad \text{Ec.(4.9)}$$

Donde:

$$\text{RRLOAD} = 0 \text{ N}$$

$$\text{WEIGHT} = 22,091.6854 \text{ N}$$

$$\text{CAPWA} = 3117.25 \text{ mm}^2$$

$$\text{RODWA} = 1860.6126 \text{ mm}^2$$

$$n = 2$$

$$r = -1$$

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = \frac{0 \text{ N} - 22,091.6854 \text{ N}}{0.1 * (3117.25 - 1860.6126) * 2 * -1}$$

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = \frac{-22091.6854 \text{ N}}{-251.32748 \text{ m}^2}$$

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = 87.89999 \text{ bar} \sim 87.9 \text{ bar}$$

Este valor de PRESS= 87.9 bar es la presión de flotación PFLO, por lo mismo el jinete en esta condición no aplica fuerza sobre el rollo (0 newtons), validando también la fuerza total calculada del rodillo jinete de 22,091.68 N.

Del rodillo jinete como un dato adicional se obtendrá la masa del rodillo en kg, que por convención es dada en KGF (kilogramo-fuerza), se utilizará la fuerza en N y la aceleración de la Gravedad.

$$\text{Fuerza (N)} = \text{WEIGHT}(\text{N}) = \text{masa (KGF)} * \text{gravedad (m/s}^2)$$

Despejar la masa

$$MASA(KGf) = \frac{WEIGHT(N)}{G \text{ (m/S}^2\text{)}} \quad \text{Ec.(4.12)}$$

$$MASA(KG) = \frac{22,091.6854(KG * m/S^2)}{9.815001 \text{ (m/S}^2\text{)}}$$

$$MASA(KG) = 2,250.81 \text{ KGf}$$

4.8.2.1.7.Ejemplo de Cálculo y Comprobación.

Se realizará un cálculo de ejemplo, para comprobar el uso correcto de las ecuaciones y sus resultados.

Ejemplo: Obtenga la PRESS (bar) que se requiere este contenida en los cilindros hidráulicos, para que el rodillo jinete ejerza una (fuerza) o carga de 2500 N sobre los rollos en formación.

Desarrollando se tiene:

$$PRESS(\text{bar}) = \frac{RRLOAD(N) - WEIGHT(N)}{0.1 * (CAPWA - RODWA) * n * r} \quad \text{Ec.(4.9)}$$

Donde:

$$RRLOAD = 2500 \text{ N}$$

$$WEIGHT = 22,091.6854 \text{ N}$$

$$CAPWA = 3117.25 \text{ mm}^2$$

$$RODWA = 1860.6126 \text{ mm}^2$$

$$n = 2$$

$$r = -1$$

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = \frac{2500\text{N} - 22091.6854\text{N}}{0.1 * (3117.25 - 1860.6126) * 2 * -1}$$

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = \frac{-19591.6854\text{N}}{-251.32748\text{m}^2}$$

$$\text{PRESS}(\text{bar}) = 77.953 \text{ bar}$$

Comprobando el resultado calculado anteriormente, de 77.953 bar.:

$$\text{RRLOAD}(\text{N}) = \text{WEIGHT}(\text{N}) - (100000 * \text{PRESS}(\text{bar}) \times \text{Aeft}(\text{m}^2)) \quad \text{Ec.(4.11)}$$

$$\text{RRLOAD}(\text{N}) = 22,091.6854\text{N} - (100000 * 77.953\text{bar} * 0.00251328 \text{ m}^2)$$

$$\text{RRLOAD}(\text{N}) = 22,091.6854\text{N} - 19591.7716\text{N}$$

$$\text{RRLOAD}(\text{N}) = 2499.914\text{N} \sim 2500 \text{ N}$$

Para conocer la masa en (KG) que corresponde, dado el peso (fuerza) que el rodillo jinete ejerce sobre el rollo en formación.

$$\text{WEIGHT}(\text{N}) = \text{MASA}(\text{KGF}) * \text{G}(\text{m/s}^2)$$

Despejando

$$\text{MASA}(\text{Kgf}) = \frac{\text{WEIGHT}(\text{N})}{\text{G}(\text{m/s}^2)} \quad \text{Ec.(4.12)}$$

$$\text{MASA}(\text{Kgf}) = \frac{2,500(\text{KG} * \text{m/S}^2)}{9.815001(\text{m/S}^2)}$$

$$\text{MASA}(\text{Kgf}) = 254.712 \text{ KG}$$

4.8.2.1.8.Cálculo de Carga Lineal Aplicada por el Jinete.

El dato RRLOAD(N/m) es la carga lineal que ejerce el rodillo jinete sobre los rollos en formación, el resultado que se obtuvo antes de 2500 N es la carga que aplica el rodillo sobre un rollo de 1 m de ancho, es decir 2500 N/m para este caso en particular el WUTRIM es de 1m. La ecuación (4.5) se había expresado previamente.

$$RRLOAD(N/m) = \frac{WEIGHT + 0.1 * (CAPWA * CAPPRES - RODWA * RODPRS) * n * r}{WUTRIM} \quad Ec.(4.5)$$

En la configuración de los cilindros las presiones.

CAPPRES = RODPRS = PRESS y la ecuación (4.5), se transforma en la siguiente.

$$RRLOAD(N/m) = \frac{WEIGHT + 0.1 * PRESS(CAPWA - RODWA) * n * r}{WUTRIM} \quad Ec.(4.13)$$

Dónde:

RRLOAD = N/m

WEIGHT = N

PRESS = bar

CAPWA = mm²

RODWA = mm²

n = 2

r = -1

WUTRIM = m

La ecuación (4.13) aplica para calcular la carga del rodillo jinete RRLOAD(N/m), para diferentes anchos de la hoja (WUTRIM) en metros.

Una variante para la ecuación (4.13) es manejar el Aeft en m² siendo así.

$$RRLOAD(N/m) = \frac{WEIGHT + (100,000 * PRESS * Aeft * r)}{WUTRIM} \quad \text{Ec.(4.14)}$$

Dónde:

RRLOAD = N/m

WEIGHT = N

PRESS = bar

Aeft = m²

r = -1

WUTRIM = m

4.8.2.1.9. Concentrado de Valores Calculados.

En la tabla 4.7, se listan todas las magnitudes calculadas hasta el momento.

Tabla.4.7 Concentrado de Magnitudes Calculadas.

ABREVIATURA	SIGNIFICADO	VALOR	VALOR	RODILLO
		1 CILINDRO	2 CILINDROS	JINETE
CAPWA	Área de trabajo del extremo de la tapa del cilindro	3117.25 mm ²	6234.59mm ²	
RODWA	Área de trabajo del extremo de la varilla del cilindro	1860.61 mm ²	3721.22 mm ²	
Aef	Área efectiva de empuje vertical	1256.64 mm ²		
Aeft	Área efectiva total de empuje vertical		2513.28 mm ²	
PFLO	Presión de flotación del rodillo jinete			87.9 Bar
n, r	Factores que corresponden a la configuración del rodillo jinete figura 7, n=2 r=-1			
Masa(kg)	Masa en kg del rodillo jinete			2,250.81 kg

4.8.3. Medición de Presión y Cálculo de Fuerza del Jinete.

El PLC realiza el cálculo de la fuerza actual que aplica el rodillo jinete sobre el rollo, para ello utiliza la medición de presión actual, se usa un medidor de presión porque, en esta máquina bobinadora no se cuenta con celdas de carga, que pueden realizar una medición de fuerza directa, las funciones de cálculo se presentan en la figura 4.25.

Al obtener la masa en (kg) que no es aliviada por la fuerza de empuje de los cilindros hidráulicos, este valor se multiplica por la constante de (G) y se obtiene la fuerza que ejerce el rodillo jinete sobre el rollo en (N).

Se establece que la mínima fuerza del rodillo jinete, es cuando este se encuentra en la posición superior (en la parte más alta) y el valor máximo de la fuerza se da cuando el rodillo jinete se encuentra apoyado sobre los núcleos de cartón con la unidad hidráulica apagada y la presión hidráulica sea cero.

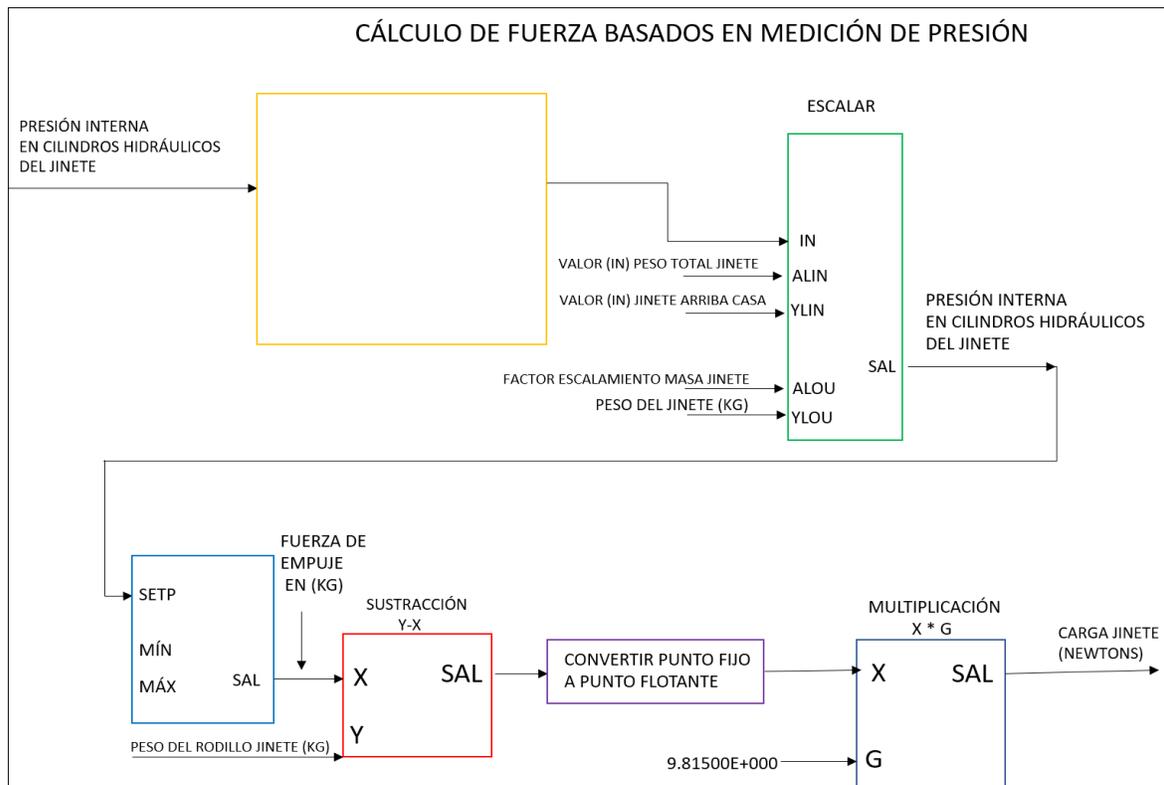


Figura.4.25 Cálculo de Fuerza del Jinete Basado en la Presión.

En la figura 4.26 se observa el transmisor de presión hidráulica y el lugar dónde se encuentra ya instalado, conectado y funcionando.

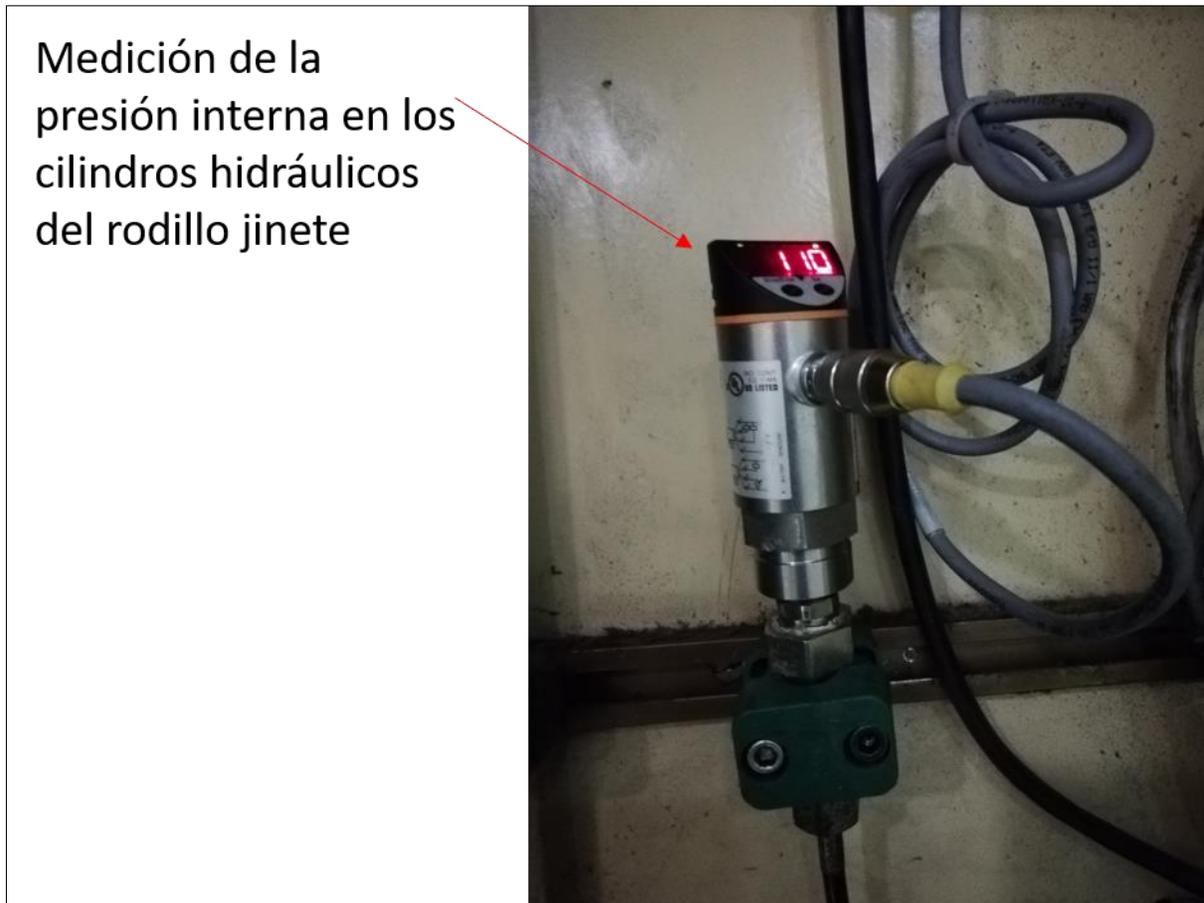


Figura.4.26 Transmisor de Presión Hidráulica.

4.9. Controlador de Fuerza del Jinete, en el Modo Alivio.

En teoría, la cantidad de presión requerida para lograr una fuerza particular del rodillo jinete, se calcula en función de la masa del rodillo y el área de trabajo de los cilindros hidráulicos que soportan y mueven al jinete, las ecuaciones, términos y ejemplos de cálculo se pueden consultar en el capítulo 4 Sección 8, (4.8).

Es inevitable, que factores como la fricción, las pérdidas de presión en las líneas hidráulicas afecten la precisión de tales cálculos, por lo mismo el control del rodillo jinete, en su programa considera que los cálculos son solo estimados y deben corregirse, en función de una señal de retroalimentación de la fuerza actual, aplicada por el rodillo sobre el rollo(s) en formación. El programa del PLC realiza los cálculos de acuerdo con los bloques funcionales de la figura 4.27, al comparar la fuerza actual con la fuerza deseada el programa obtiene la fuerza de error, esta fuerza de error la utiliza para determinar el ajuste que se debe realizar a la presión estimada por los cálculos, esto ocurre del siguiente modo:

Si el rodillo jinete está en el modo alivio, el programa de control realiza un cálculo de la presión necesaria, para lo cual, toma en cuenta el valor de referencia de fuerza lineal, las dimensiones de los cilindros hidráulicos, la presión de flotación del rodillo jinete. El valor de presión calculado se envía como referencia de presión a la servo válvula, la cual regula esta petición controlando el flujo de aceite en los cilindros hidráulicos.

Un transmisor mide la presión hidráulica interna en los cilindros y esta medición sirve como retroalimentación para determinar por cálculo, la fuerza actual que el rodillo está aplicando sobre el rollo. Al tener en todo momento la retroalimentación de fuerza, el control determina el error entre la fuerza calculada y la fuerza actual, este error es convertido en Bar de presión, este valor en Bar se usa para sumarse o restarse, según sea el caso; con el valor de referencia de presión de la servo-válvula, con la finalidad; de minimizar el error entre la fuerza deseada y la fuerza actual.

Para eliminar o corregir el error entre la fuerza actual y la deseada, se usa un controlador de fuerza PI, la corrección es posible si se logra que la presión medida en los cilindros, sea igual al valor de presión calculado. El rango para corrección de la presión debe ser lo más estrecho posible, por ejemplo, este rango de presión corregible puede ser +/- 4 bar, con diferencias mayores el controlador PI queda sin efecto, además, si los valores en la ganancia y el tiempo integral del PI se dejan en cero, la corrección del lazo de fuerza será cero.

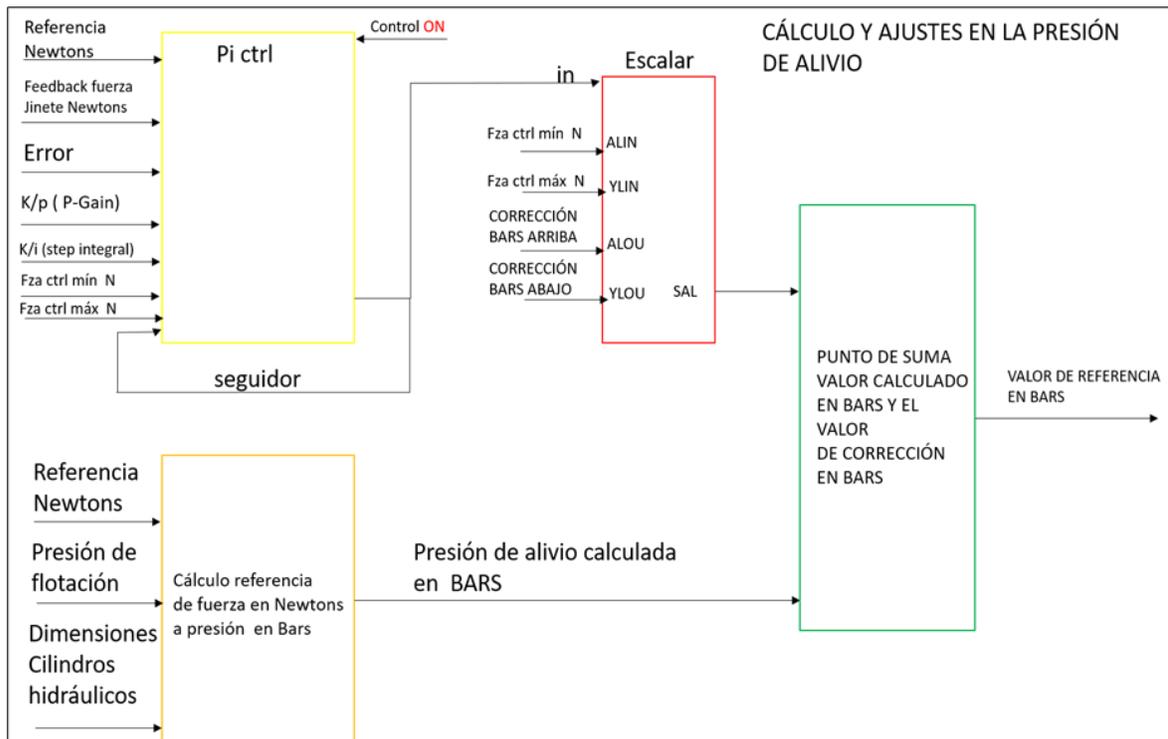


Figura.4.27 Controlador de Fuerza PI.

Cuando se presenta una rotura de hoja la salida del controlador PI es forzada a cero, para prevenir que el sistema esté tratando de corregir cambios repentinos, que se presentan en la fuerza durante esa condición de rotura.

En la figura 4.28 se grafican las diferentes variables que intervienen en el control del rodillo jinete, primero está en el modo bajar y al hacer contacto con el centro vacío o con el rollo el control conmuta al modo alivio, como se especifica en la gráfica una vez

activado el modo alivio, se activa también el controlador PI, esto se aprecia en la gráfica y se ha encerrado en un círculo, para destacar la acción de control, retroalimentado por la medición de presión. En el interior del círculo, el setpoint de presión línea gris se fija a un valor constante antes de arrancar la bobinadora, el controlador PI línea amarilla, realiza su acción de control para alcanzar el setpoint de la presión línea gris, el error es calculado usando la presión retroalimentada de los cilindros hidráulicos.

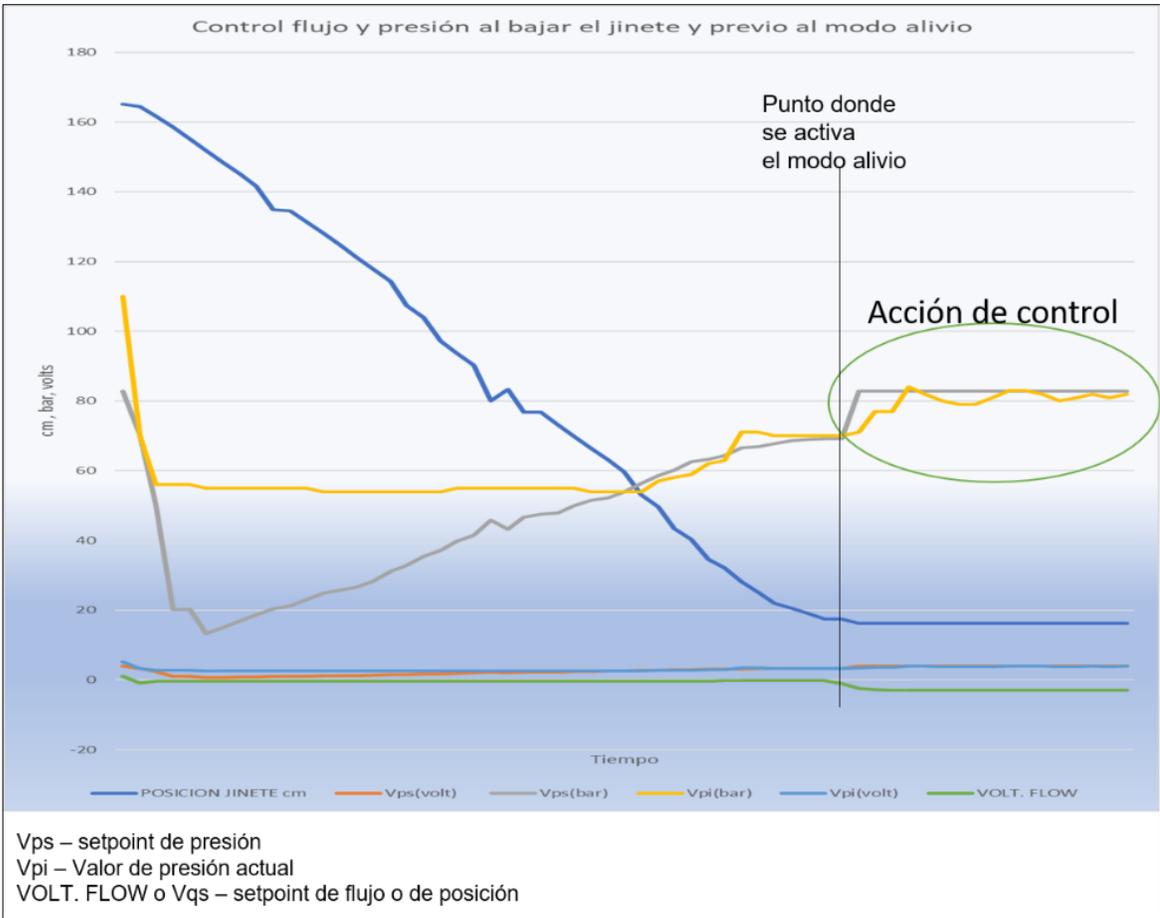


Figura.4.28 Control de Presión del Jinete en el Modo Alivio.

4.10. Referencias de Salida a la Servo Válvula.

Para generar las referencias de salida para el flujo y para el manejo de la presión en los cilindros hidráulicos, el programa de control del PLC 400 toma en cuenta el modo de trabajo del rodillo jinete, las condiciones de entradas digitales y analógicas.

El control del flujo y la presión hidráulica, lo lleva a cabo una servo- válvula en base a las referencias que recibe, esto se aprecia en la figura 4.29 que es un esquema funcional, dónde se observa cómo genera el PLC las salidas de referencia.

El valor de la referencia de presión en bar debe someterse a los límites (mínimo y máximo) para evitar llegar a la presión de flotación del rodillo, causando que pierda contacto con el rollo, luego la referencia aumenta su valor en forma de rampa para que sea gradual, previo a conectarse a través de la salida analógica. La salida de referencia es un voltaje directo de 0-10 volts, la tarjeta del PLC realiza una conversión (D/A) y el valor análogo lo conecta con el lado de control de presión de la servo-válvula. De manera similar ocurre con el valor de referencia para el flujo, el cual se conectará con al lado de control de flujo en la servo-válvula.

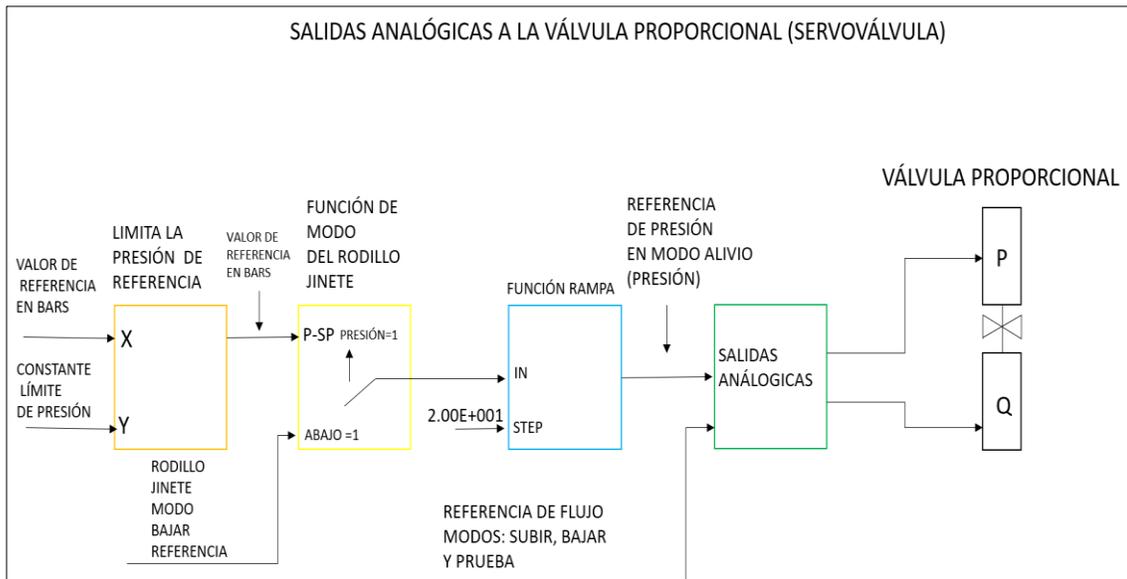


Figura.4.29 Referencias analógicas a la Servo Válvula.

4.11. Función del Jinete en el Control de Dureza.

Los rollos que salen de la bobinadora deben ser consistentes en la calidad de su bobinado y en sus valores de dureza, para obtener la dureza adecuada en los rollos que produce la bobinadora, se marca como objetivo que el nip de carga entre el rollo y los tambores se mantenga lo más constante posible durante el proceso de embobinado.

En un principio la carga del rodillo jinete sobre el rollo pequeño compensa la falta de peso de este, al final el peso del rollo es tal que no es necesario que el jinete ejerza demasiada presión sobre el rollo, únicamente la necesaria para mantener los rollos en su posición. En la figura 4.30 se observa cómo se modifican los nips en los puntos de contacto, según la geometría de la bobinadora, conforme el rollo va aumentando su diámetro y su peso, el nip formado entre el rollo y los tambores, es la resultante de la suma de la carga en el nip (entre el jinete con él rollo) y el peso del rollo en formación.

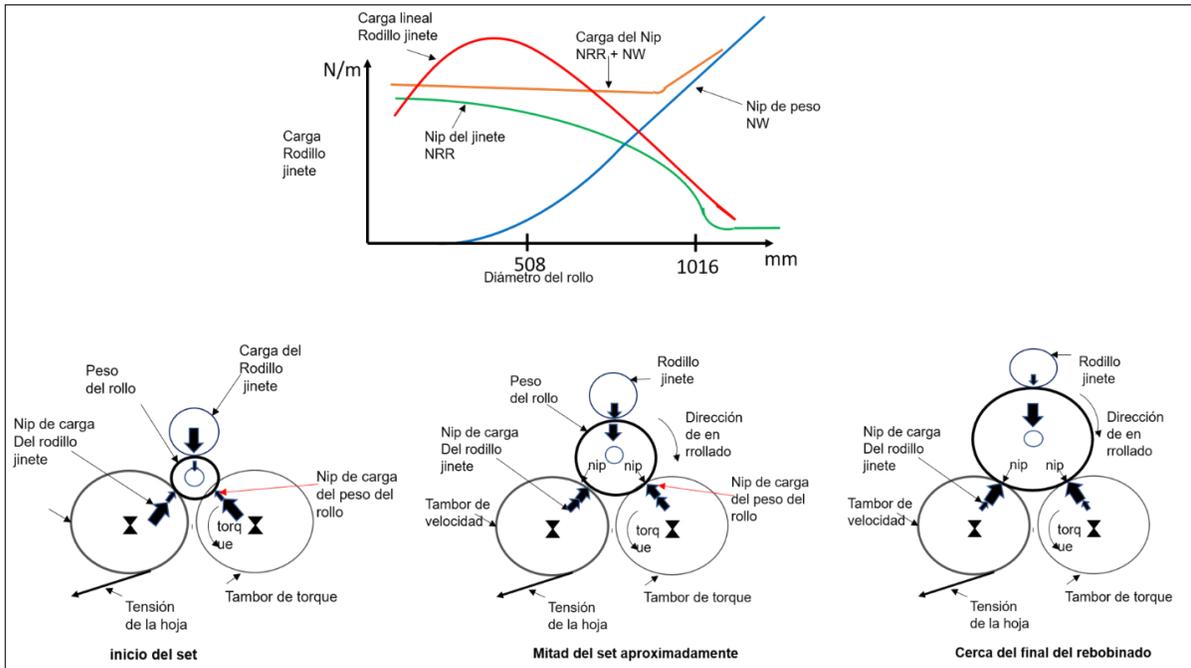


Figura.4.30 NIP entre los Tambores el Rollo y el Jinete.

Es importante para la dureza del rollo, el control de la diferencia de torque entre los dos tambores, este control toma en cuenta la posición del rodillo jinete en el ciclo de embobinado y mantener constante la tensión de la hoja.

4.11.1. Cálculo Aproximado del Peso del rollo.

Para encontrar el peso aproximado de un rollo, multiplique el diámetro del rollo al cuadrado menos el diámetro del núcleo al cuadrado por el ancho del rollo y el factor apropiado, ecuación (4.15) (International Paper, 2018).

$$\text{Peso rollo} = [(\text{Diámetro rollo})^2 - (\text{Diámetro centro})^2] \times \text{Ancho rollo} \times \text{Factor} \quad \text{Ec.(4.15)}$$

El método de International Paper, proporciona factores de cálculo para diferentes tipos de papeles y se listan en la tabla 4.8 (International Paper, 2018).

Tabla.4.8 Factor de Cálculo en Diferentes Papeles.

Factor			
Antique	.018	Tag and Index	.026
Vellum offset	.020	C1S	.033
Bond	.021	C2S Cover	.033
Smooth offset	.022	C1S Cover & Blanks	.030
Vellum Bristol – cover	.022		

Ejemplo.

Encuentre el peso de un rollo de papel bond con un diámetro de 40 pulg., un diámetro del núcleo de 3 pulg. y un ancho del rollo de 17.5 pulg.

$$[(40 \times 40) - (3 \times 3)] \times 17.5 \times .021 = 585 \text{ lbs.}$$

Nota: .021 es el factor apropiado para las formas de papel bond.

Los resultados del sistema de cálculo son estimados y no están garantizados por International Paper (International Paper, 2018).

4.11.2. Contribución del rodillo Jinete a la Dureza.

Las siguientes gráficas muestran de forma aproximada la contribución al nip, del rodillo jinete y el peso del rollo, tomando como base los diferentes programas automáticos para el control de alivio del rodillo jinete, la curva resultante de la suma del nip del jinete y el peso del rollo, es aproximada, debido a que el cálculo de peso del rollo conforme crece su diámetro es un estimado, el peso se calculó con el método de international paper.

4.11.2.1. Gráfico de Cargas, en Uso Programa 1.

Es importante para un buen embobinado, que durante el proceso el rollo se vea sometido a un nip de fuerza más o menos constante, de principio a fin. Por ello, en la bobinadora de dos tambores, es importante que el rodillo jinete compense la falta de peso del rollo al inicio.

En las figuras 4.31, 4.32, 4.33, se representa, la contribución a la dureza por parte del jinete y del peso del rollo considerando rollos con diferente ancho, por ejemplo, rollos de 19.6, 39.3 y 98.4 pulg. o 0.5, 1.0 y 2.5 m, respectivamente.

El programa 1, se utiliza para rollos pequeños menores de 39" diámetro, el Programa1, para el alivio automático del rodillo jinete, varia conforme a la curva 1, los datos de la curva 1 están guardados en la base de datos del PLC, son valores de carga en (N) estándar para un ancho de 1 m, estos valores de carga van variando conforme el diámetro del rollo se incrementa. Esta variación en la carga que ejerce el rodillo jinete sobre el rollo es su contribución a la dureza del rollo.

La figura 4.31 es el gráfico de la corrida de un rollo de 19.6”, la curva naranja es el cálculo aproximado del peso del rollo (N), la curva amarilla es la referencia de carga lineal (N/m) , la curva gris es el peso del rodillo jinete (N) aplicado al ancho del rollo de 19.6”, la curva azul es la suma de la curva naranja y la curva gris y es el nip de fuerza total aplicado sobre el papel que se está embobinando, esta es la curva que se busca sea lo más constante posible, para obtener rollos con un buen embobinado y la dureza adecuada.

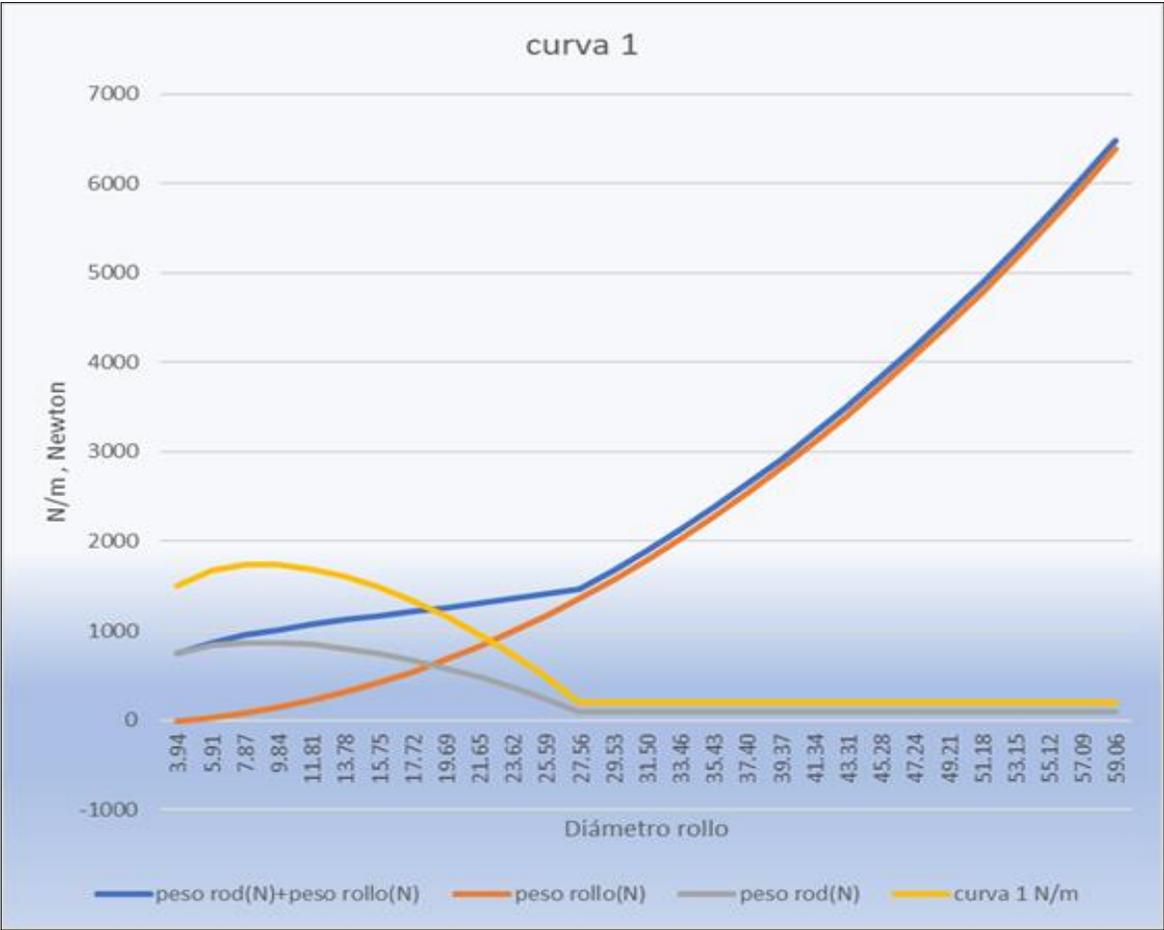


Figura.4.31 Programa 1, Ancho del Rollo 19.6”.

En la figura 4.32, se grafica una corrida considerando un rollo con ancho de 39.3", que es lo mismo que 1 metro, observe que la curva amarilla (N/m) y la gris, peso rodillo (N) se empalman y parecen una sola, la curva azul es la suma de la curva gris y la naranja, se mantiene relativamente constante durante la corrida del rollo.

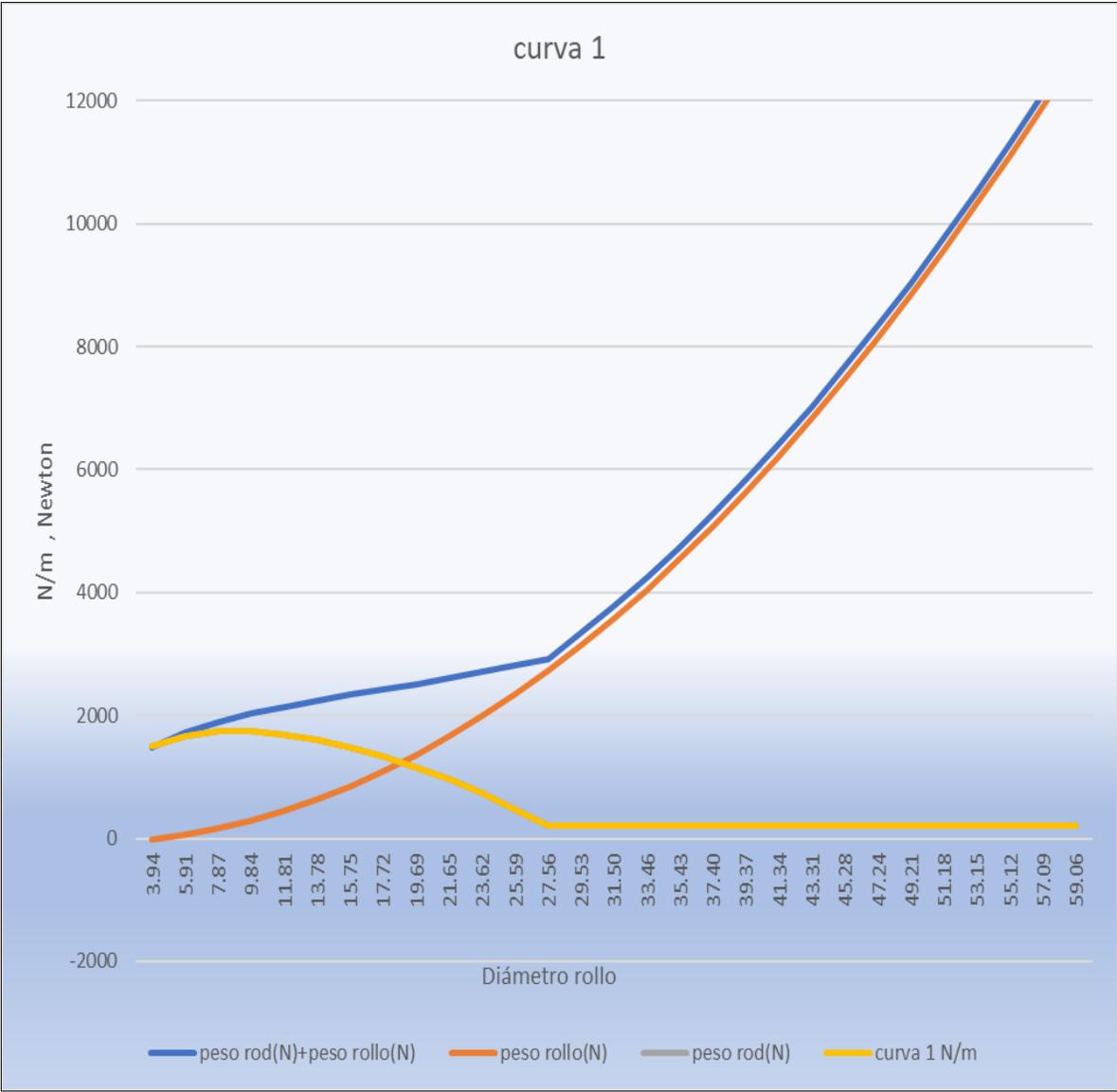


Figura.4.32 Programa 1, Ancho del Rollo 39.3 “.

El mismo programa de alivio número 1 del rodillo jinete, pero ahora aplicado a un rollo con un ancho de 98.4", igual a 2.5 m. Se presenta el gráfico en la figura 4.33, la idea es ver como contribuye el jinete con su nip de carga variable sobre el rollo para que, junto con el peso creciente del rollo, el papel a enrollar experimente una presión lo más constante posible y obtener rollos con buen embobinado y dureza adecuada. La curva amarilla (N/m) es la carga lineal, roja peso aproximado del rollo, gris peso rodillo (N) sobre el rollo, azul nip de carga resultante sobre el rollo.

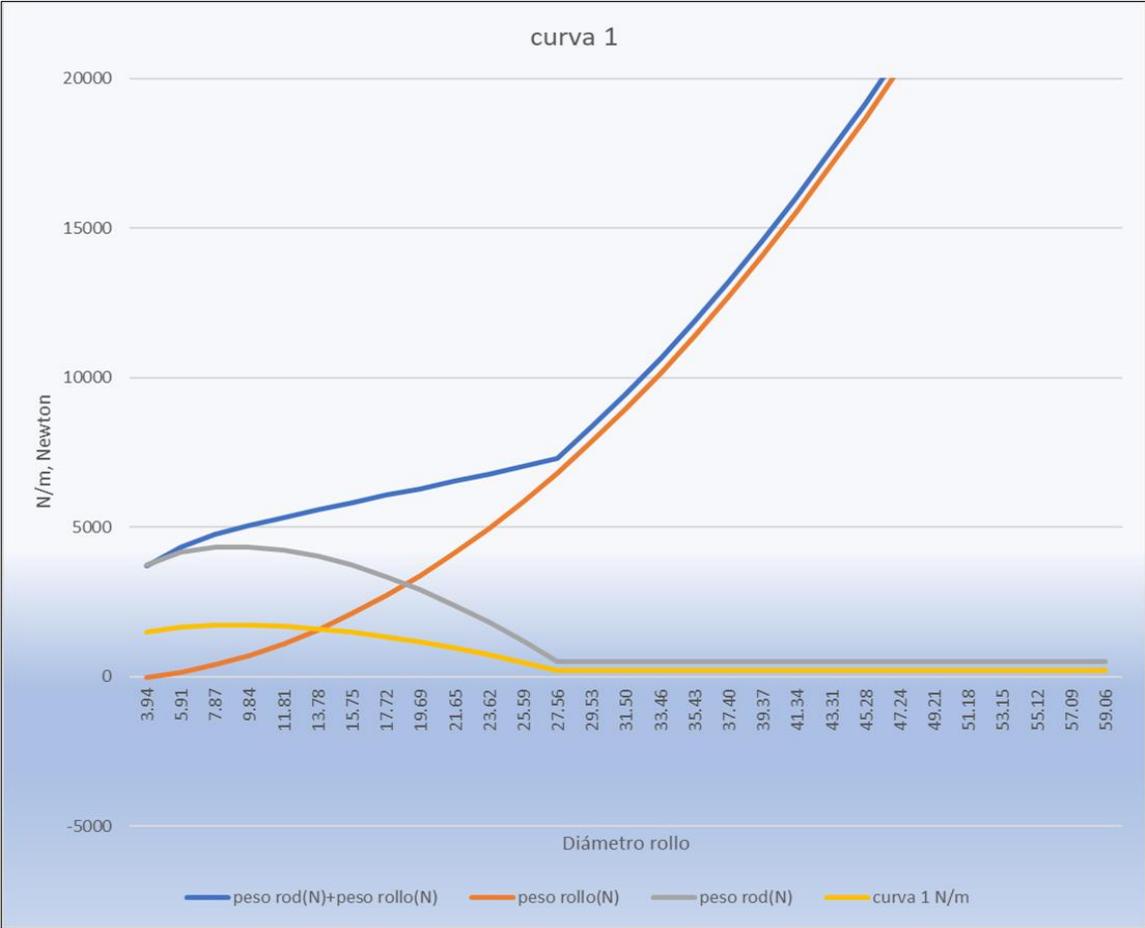


Figura.4.33 Programa 1, Ancho del Rollo 98.4".

4.11.2.2. Gráfico de Cargas, en Uso Programa 2.

El programa de alivio automático 2 para el rodillo jinete, se utiliza para rollos medianos de 40 a 48" de diámetro y se rige por la curva 2, cuya curva (N/m) estándar está en el PLC de control. Se ejemplifican 2 casos, igual como se hizo con el programa 1 y ver la contribución del jinete a la dureza de los rollos.

En la figura 4.34, se grafica la corrida de un rollo cuyo ancho es 19.6" o 0.5 m, curva amarilla (N/m) carga lineal, curva gris peso rodillo (N) sobre el rollo, curva roja peso (N) del rollo aproximado, curva azul resultante de curva gris y curva roja y es la presión que experimenta el papel al ser embobinado, se busca que sea lo más constante posible.

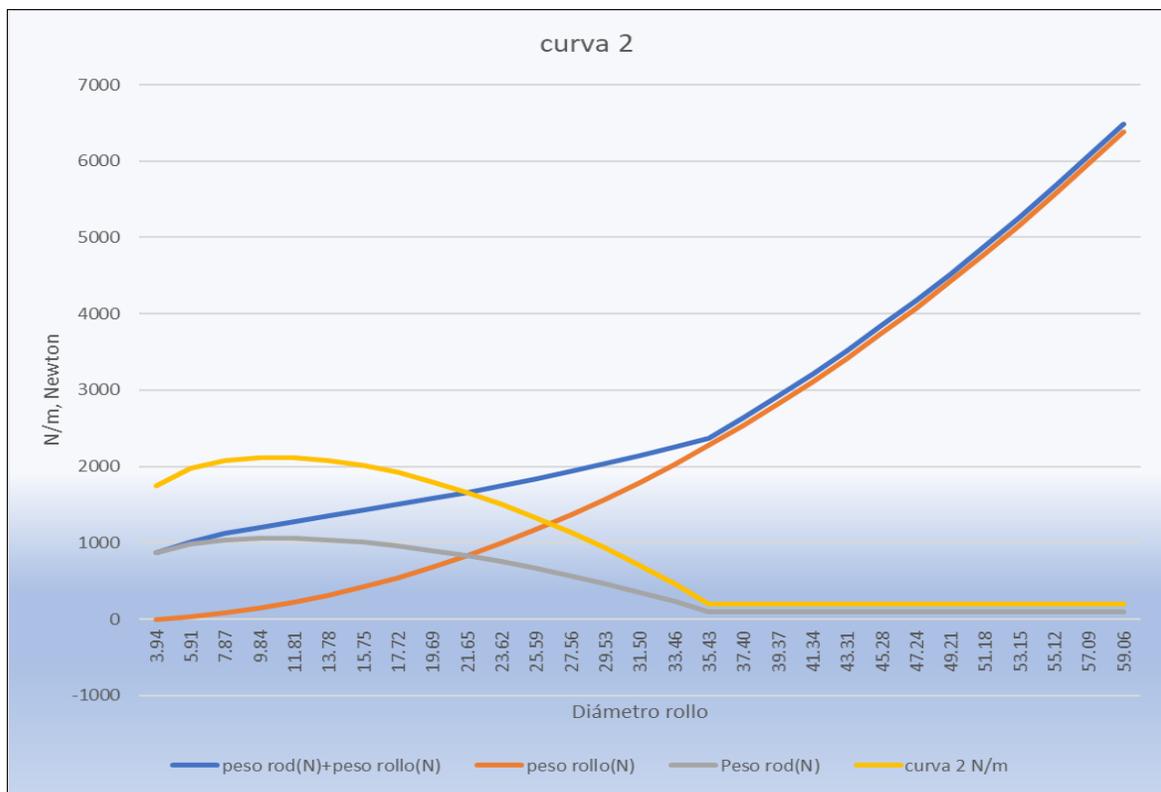


Figura.4.34 Programa 2, Ancho del Rollo 19.6 “.

Observe la figura 4.35, se grafica la corrida de un rollo con un ancho de 98.4” o 2.5 m, se utiliza el programa 2, la curva azul es la presión que experimenta el papel durante el embobinado y resulta de la suma de la curva gris y roja, que es la contribución al nip, del peso del jinete y el peso del rollo respectivamente.

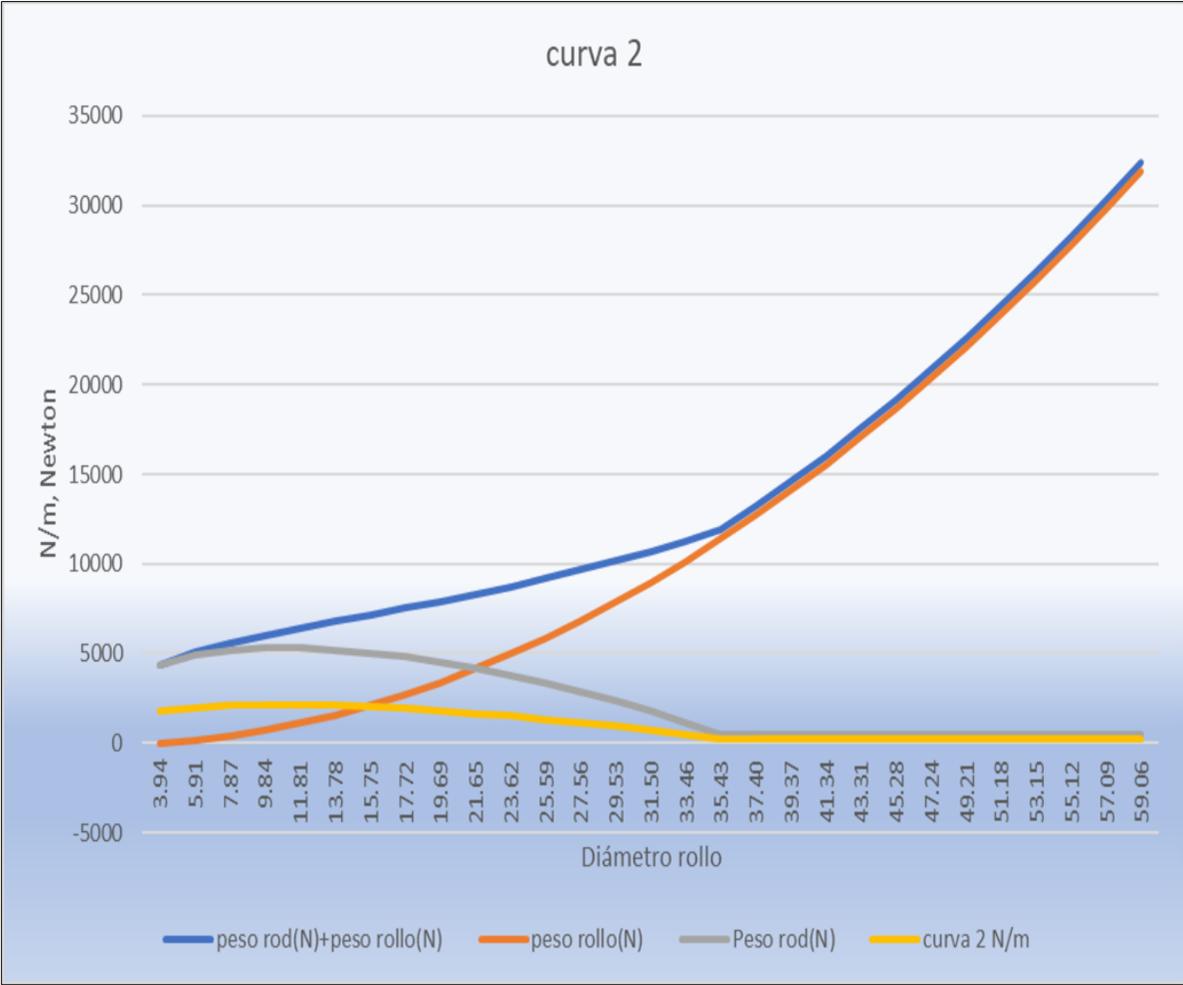


Figura.4.35 Programa 2 Ancho del Rollo 98.4 “.

4.11.2.3. Gráfico de Cargas, en Uso Programa 3.

El programa de alivio automático 3 para el rodillo jinete es utilizado con rollos grandes de 50 a 60" de diámetro y se rige por la curva 3 (N/m) estándar, los datos están en el PLC de control. Se ejemplifican 2 casos, igual como se hizo con el programa 2 y ver la contribución del jinete a la dureza de los rollos.

En la figura 4.36, se grafica la corrida de un rollo cuyo ancho es 19.6" o 0.5 m, curva amarilla (N/m) setpoint de carga lineal, curva gris peso rodillo (N) sobre el rollo, curva roja peso (N) del rollo aproximado, curva azul resultante de curva gris y curva roja es la presión que experimenta el papel al ser embobinado, se busca que sea lo más constante posible, para obtener dureza adecuada y buen embobinado.

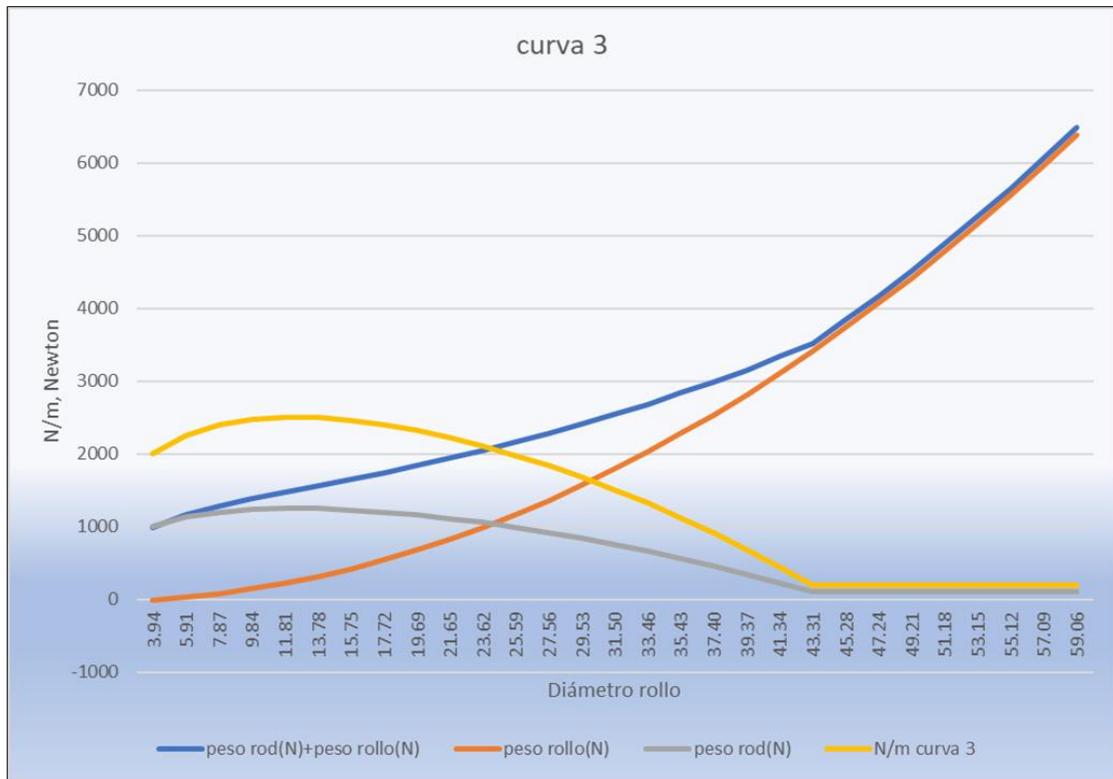


Figura.4.36 Programa 3, Ancho del Rollo 19.6".

Observe la figura 4.37 se grafica la corrida de un rollo con un ancho de 98.4" o 2.5 m, se utiliza el programa 3, la curva azul es la presión que experimenta el papel durante el embobinado y resulta de la suma de la curva gris y roja, que son la contribución del peso del jinete y el peso del rollo respectivamente.

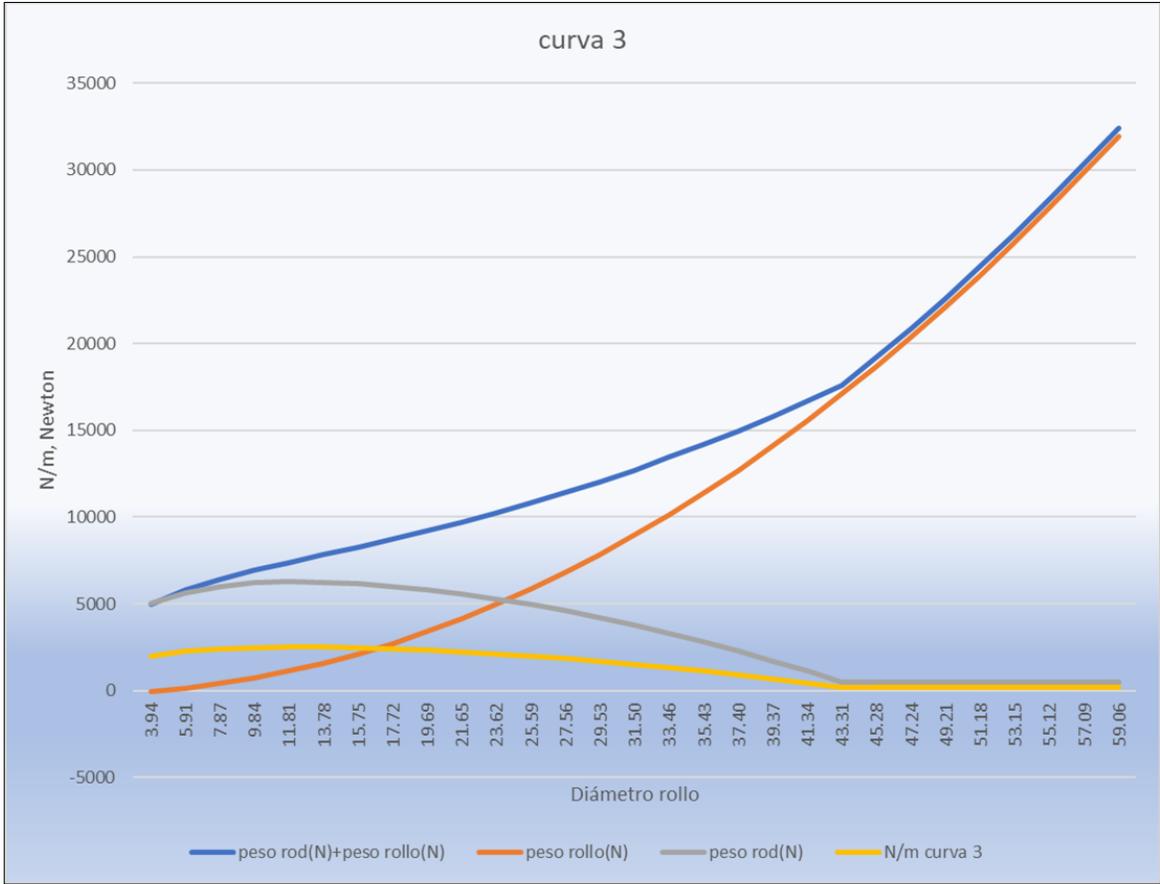


Figura.4.37 Programa 3, Ancho del Rollo 98.4".

Finalmente diré que estos gráficos permiten ver la funcionalidad, de los programas automáticos de alivio del jinete y como se ajustan a los diferentes anchos de los rollos.

4.12. Medición de Dureza en Rollos de Papel.

Para realizar las mediciones de dureza en los rollos, se utilizó equipo del departamento de calidad, el Proceq original Swiss made, Schmidt Roll Hardness Tester, como el expuesto en la figura 4.38.



Figura.4.38 Medidor de Dureza Superficial de Rollos.

Un probador de dureza de rollos es un dispositivo para medir la dureza del rollo, el perfil de dureza y variación de dureza de rollos de papel. Paper-Schmidt, es el primer martillo de prueba de rebote para medir la dureza en rollos de papel, diseñado específicamente para la industria del papel, para reducir costos y aumentar la eficiencia de la máquina de bobinado. Un nuevo principio de medición de prueba de dureza y un émbolo de alto cumplimiento, proporcionan precisión y repetibilidad de perfilado de rollos que antes era inalcanzable. Además, tiene una vida útil prolongada, para hacer frente a las fuertes demandas de la industria del papel, es una herramienta dedicada con las tolerancias predefinidas, que hacen que la evaluación de un perfil sea una cuestión simple (PCTE, 2020).

La dureza de un rollo es uno de los parámetros más importantes, a la hora de decidir si un rollo de papel es bueno o malo, un rollo con muy baja dureza puede deformarse

cuando se maneja, un rollo que se enrolla demasiado duro, por el contrario, puede romperse durante el transporte. La variación de dureza a través de un rollo se relaciona, más directamente con emisiones de holguras y cambios en la tensión del papel, que se manifiestan a la hora de que el usuario convertidor del rollo procede a desbobinarlo, (problema que el fabricante traspasa al convertidor), los rollos con durezas muy altas o bajas pueden presentar deformaciones en forma de bordes suaves y puede haber daños en el papel en las capas internas del rollo.

La industria del papel realiza la medición de dureza en rollos con base a normas TAPPI, que es la asociación técnica de la industria del papel y la pulpa, fundada en 1915.

La norma TAPPI T834- pm94, determinación de dureza en rollos de papel, es utilizada en la industria del papel y describe el procedimiento para usar un martillo de prueba de dureza, para evaluar la dureza de los rollos de papel, se presiona el embolo contra la superficie del rollo, el martillo en el dispositivo se libera de un muelle calibrado y queda atrapado en el rebote de la superficie, la cantidad de rebote es indicativa de la dureza en el punto de impacto, un piloto en la escala del instrumento indica el rebote máximo, por lo tanto, una medida de la dureza del rollo, esta prueba determinará si existe o no una gran variabilidad a través del ancho del rollo o dentro del rollo, esta variabilidad puede predecir otros problemas de calidad, humedad, variación de calibre, holguras del papel.

4.12.1. Norma para Medir Dureza en Rollos de Papel.

El dispositivo de martillo de prueba de dureza en la Figura 4.39, consiste en un émbolo (1), resorte (16) y una masa de martillo (14), en una carcasa que contiene una escala (19) y un jinete (4) para indicar el movimiento máximo, de la masa del martillo en porcentaje de su movimiento hacia adelante (TAPPI, 1994).

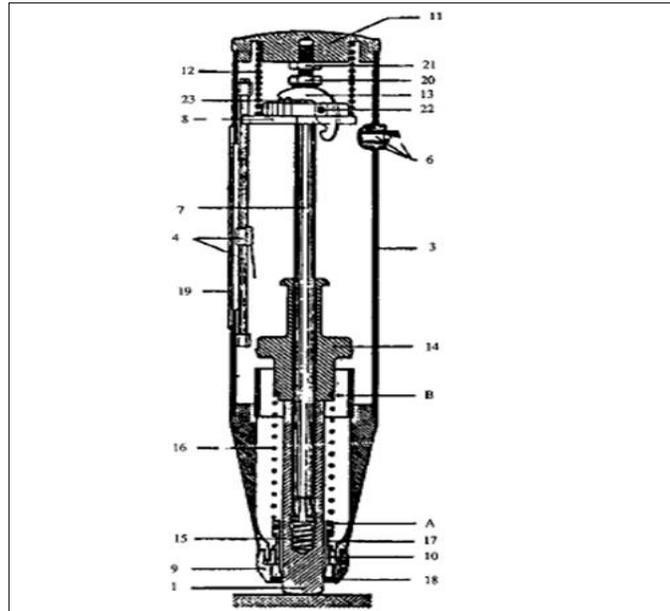


Figura.4.39 Vista en Corte Martillo para Prueba de Dureza.

Esta prueba generalmente se realiza en una planta, en un ambiente no acondicionado.

Procedimiento:

- a) Sostenga el dispositivo del martillo de prueba por su carcasa, presione firmemente el émbolo contra una superficie para liberar el émbolo, para que se extienda completamente desde la carcasa.
- b) Presione la cabeza del émbolo contra el rollo de papel a probar, para asegurarse contra lecturas falsas, el dispositivo de martillo debe colocarse perpendicular a la superficie que se está probando (una extensión de la línea de diámetro del rollo).
- c) Empuje lentamente la carcasa hacia el rollo hasta que el martillo se libere automáticamente.
- d) Anote y registre la lectura de escala que indica el piloto.
- e) Algunos dispositivos de martillo están equipados con una grabadora incorporada, que elimina la necesidad de anotar y grabar Lecturas individuales.

- f) Retire el dispositivo de martillo de la posición probada y colóquelo en la siguiente área a proba, el dispositivo se reinicia automáticamente y está listo para realizar mediciones adicionales.
- g) Realice un mínimo de 10 mediciones, espaciadas uniformemente en todo el ancho del rollo que se está probando.
- h) Una vez completadas todas las mediciones, empuje el émbolo en su posición más trasera y bloquéelo con el empuje botón ubicado en la carcasa del dispositivo.
- i) Calcular la media de las lecturas tomadas en un rollo dado (TAPPI, 1994).

4.12.2. Medir Dureza, en Rollos de Pondercel.

La intención es medir dureza en rollos con diferentes dimensiones, dada la versatilidad de la rebobinadora.

Se procede a determinar la dureza en rollos que salen de la bobinadora. Fue necesario ajustarse al ritmo de producción y tiempos de espera, pues hubo días que no había cambios en el patrón de fabricación y no se presentaban cambios en el ancho o diámetro de los rollos en periodos de tiempo largo.

Por la premura de los tiempos y no entorpecer el flujo se realizaron 3 pruebas de dureza con el martillo Schmidt en cada rollo, una al centro, una aproximadamente a 10cm de la orilla izquierda y una aproximadamente a 10 cm de la orilla derecha, la distancia de medida en las orillas es relativa, pues, esta máquina por su versatilidad procesa rollos de 50cm de ancho, en este caso se midió la dureza a 5 cm de la orilla. Se anotó cada lectura de la escala del instrumento y se calculó el promedio.

Los % dureza promedio de los rollos que fueron probados se registraron en la tabla 4.9, además, se registró el gramaje del papel bond, el diámetro final de los rollos en pulg, el ancho del rollo cortado en m, programa automático utilizado en el alivio del R.J, centro de cartón que se usó.

Tabla.4.9 Dureza en Rollos Embobinados en Pondercel.

Gramaje g/m ²	Diámetro final del rollo pulgadas	Ancho del rollo m	Programa de alivio1, 2, 3 Rodillo jinete	Centro de cartón pulgadas	Promedio % Dureza del rollo
90	57	2.5	3	6	48
130	52	2.2	3	4	47
68	40	0.6	2	3	47
90	50	1.42	3	6	48
90	50	1.5	3	6	47
75	50	1.8	3	6	49
75	50	1.8	2	6	47
75	50	1.6	3	6	47.5
75	50	2.4	3	6	47
75	40	1.5	1	3	47
75	40	1.5	2	3	48
75	59	2.5	3	6	49
68	40	0.56	1	3	48

Para el departamento de calidad son aceptables durezas superiores a 42, en la tabla 4.9 se observan valores de dureza que cumplen esta condición.

Con los datos de la tabla 4.9 se realiza un gráfico, con el fin de representar a modo de tendencia la dureza de los rollos de papel, procesados en la rebobinadora de

Pondercel, esta máquina ya tiene operando el control actualizado con PLC en su rodillo jinete.

En la gráfica de la figura 4.40 se puede ver la línea gris que representa el % de dureza promedio en los rollos probados, se aprecia como este porcentaje se mantiene en un $\pm 2\%$, a pesar de que los rollos probados de uno a otro pueden tener, diferente ancho (línea azul), diferente diámetro (línea roja), incluso el programa de alivio del rodillo jinete cambia conforme al diámetro del rollo, pues los programas se eligen en función del diámetro.

Además, se deduce del gráfico que el % de dureza promedio en todos los rollos probados, están por arriba del mínimo de %dureza (línea amarilla) establecido por el departamento de calidad.

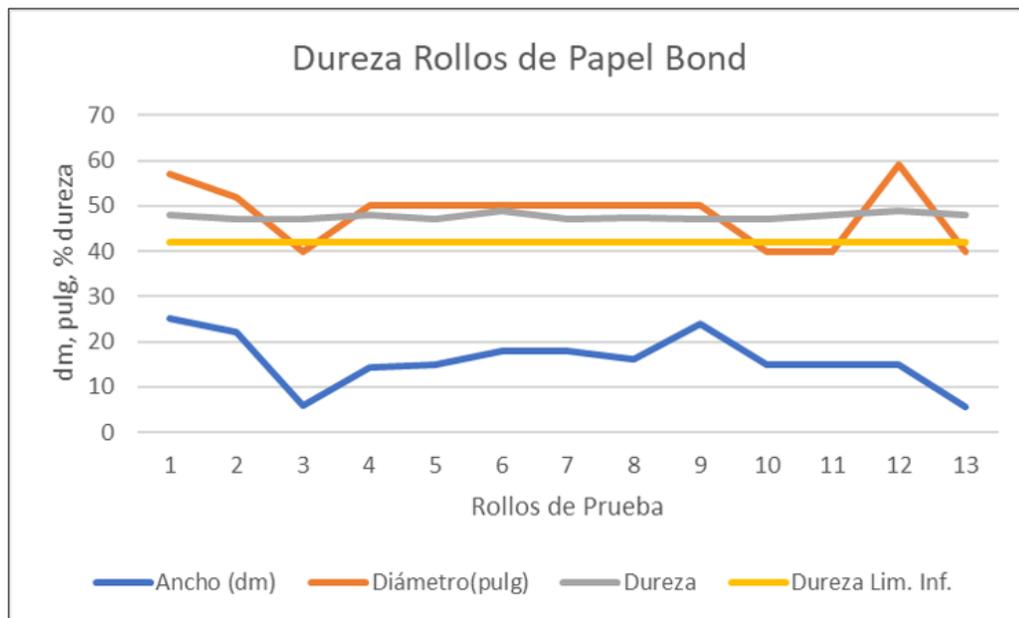


Figura.4.40. Dureza en rollos de Pondercel.

Con el control de fuerza del rodillo jinete trabajando en modo automático, se aprecia en la muestra de rollos probados, cierta estabilidad en el % de dureza promedio, a pesar de que haya cambios dimensionales en los rollos bobinados.

4.13. Seguimiento a la Puesta en Marcha.

Una vez instalados los equipos y que estén trabajando, será necesario, darle seguimiento al comportamiento de la máquina con los nuevos equipos y evaluar su desempeño, para constatar el cumplimiento de los objetivos o de ser necesario realizar modificaciones y ajustes.

Se probó la velocidad alta y baja, en los movimientos del rodillo jinete y que hiciera contacto suave con el centro, igual se verificó que al bajar sobre un rollo con cierto diámetro, por haberse presentado rotura, hiciera contacto lento y suave, se probó que no bajará el rodillo si los sujetadores de centros están en la posición superior.

Se corre rollo de pruebas y se realizan ajustes utilizando el modo manual para el alivio del rodillo jinete y se comportó bien.

Se realizaron pruebas, con los diferentes programas de control de alivio automático, estos programas se usan de acuerdo con el diámetro de los rollos a bobinar, fueron pruebas necesarias y se corroboró el buen desempeño de los tres programas automáticos, la máquina está operando bien dentro de los límites de control.

El departamento de producción está utilizando el modo automático del control de carga del rodillo jinete, es opcional manejarlo en modo manual, los rollos procesados pasaron los parámetros de calidad buen embobinado y dureza adecuada.

Se tienen cubiertas las funciones del control electrónico original, además, están habilitadas algunas mejoras en la operación del rodillo jinete, el sistema controla bien la velocidad del rodillo y el control de presión (en el modo alivio), la retroalimentación de fuerza calculada usando la medición de presión sin problemas, el controlador de fuerza del rodillo se comportó bien con los diferentes programas de alivio, el PLC y los dispositivos externos conectados a él trabajando bien.

Además, se anexo junto al PLC400, la nueva filosofía de operación del rodillo jinete y su control, se dejaron disponibles diagramas eléctricos de conexiones, que sirvan de auxiliar en la solución de problemas de mantenimiento.

5. CONCLUSIONES

Se cumplió con los objetivos planteados, los controles están en automático en el modo alivio del jinete y la operación manual es opcional.

Se tiene instalado un sistema de control actualizado, con refacciones disponibles en el mercado, fácil de analizar y/o modificar según las necesidades y circunstancias, facilitando las labores de mantenimiento.

El operador fácil y rápido, puede realizar los ajustes necesarios del rodillo jinete, para cada patrón de corte y bobinado, son muy pocos los movimientos operativos en el modo automático, (seleccionar programa, ancho rollo, tipo de centro, bajar jinete) y el PLC hace el resto.

Se tiene ahora un mejor comportamiento en la operación del rodillo jinete, en sus desplazamientos verticales y su control de alivio reflejado en la fuerza que se ejerce sobre el rollo en formación.

El rodillo jinete tiene un descenso controlado, de modo que, al hacer contacto con el centro hueco de cartón, lo hace lento para evitar que se deformen los centros por golpe o machucón. Lo mismo pasa al descender el jinete, sobre un rollo ya iniciado con cierto diámetro, el contacto con el rollo es suave.

En el ascenso el rodillo jinete tiene una velocidad lenta al final de su carrera, esto evita un golpe de choque fuerte al llegar los cilindros hidráulicos al final de su avance. De no ser así, podría haber algún daño mecánico o afectación en los sellos de los cilindros.

El controlador de fuerza automático del rodillo jinete, para aplicarse con los tres diferentes programas de alivio, tiene la respuesta y la estabilidad adecuada en el seguimiento al setpoint de fuerza, que debe aplicar el jinete sobre el rollo en proceso, calcula el error y lo minimiza con base a la medición indirecta de la fuerza actual aplicada, utilizando la medición de presión en los cilindros hidráulicos.

De acuerdo con el punto 4.12.2, los resultados arrojan evidencia suficiente para reforzar que, las mediciones en % dureza promedio de los rollos de papel tienen uniformidad y son consistentes, de acuerdo con la muestra presentan +/- 2% de

variabilidad en el % de dureza promedio, sin importar el ancho, el diámetro o el programa automático en uso. Se observa también, que los rollos probados cumplen el criterio del departamento de calidad en % de dureza promedio.

El PLC 400 se hace cargo del manejo del rodillo jinete, el resto de las funciones de la cortadora y condiciones de seguridad las realiza el PLC S5 135, entre los dos PLC'S existe un intercambio de comandos necesarios para el buen funcionamiento de la cortadora y del rodillo jinete.

Finalmente:

Bobinar y cortar rollos de calidad es el reto que enfrenta el operador de las rebobinadoras, obtener la calidad de forma continua, depende de la constancia de llevar un buen papel a la máquina bobinadora. El trabajo del operador de bobinadoras no consiste en camuflar productos de papel de baja calidad en rollos que se puedan enviar al cliente, su responsabilidad es manejar papel con ligeras imperfecciones y producir rollos de calidad que se corran sin problema en los procesos de su cliente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aärinen, K. (2006). *Optimisation of Customer Roll Quality in Winding*. Tampere: Tampere Polytechnic.
- Balcells, Romeral, J. J. (1998). *Autómatas Programables*. México: Alfa Omega, Editorial Marcombo.
- Bassam, D. (02 de 01 de 2015). *How to calculate rider roll load from cylinder pressure. pdf document*. Obtenido de spn consultants. www.spnconsultants.com, Bassam ing. Senior Analyst: <http://spnconsultants.com/articles/defective-rider-roll-load-cell/>
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial, 8va ed. Alfa Omega*. México: Marcombo.
- Creus, A. (2011). *Neumática e Hidráulica*. México: Alfa Omega, Editorial Marcombo.
- Good, Roisum, J. D. (2008). *Winding: Machines, Mechanics and Measurements*. USA: TAPPI PRESS , Destech Publications, Inc.
- Gronewold, J. (1998). *Winders: The Complete Guide for Paper Mills and Converters*. Atlanta: Tappi Press.
- Häggblom , Komulainen, A. P. (2000). *Fabricación de Papel y Cartón*. Helsinki: Junta Nacional de Educación.
- International Paper. (01 de 02 de 2018). *Roll Weight , International Paper*. Obtenido de [www. International Paper .com](http://www.internationalpaper.com) , tools. All Rights : <http://www.internationalpaper.com/tools/calculators/roll-weight>
- MOOG. (13 de 02 de 1988). *D650 P-Q Series Servo - Proportional Valves*. Obtenido de MOOG, Hydraulics Valves. www.MOOG.com: <https://www.moog.com/literature/ICD/D650pQseries-servo-proportional-valves-en.pdf>
- Mousseau, J. M. (1974). *CANADA Patente nº 3,810,589*.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna, 5ta edición*. España: Pearson Prentice Hall.

PCTE. (01 de 12 de 2020). *Paper schmidt-Paper Roll Hardness*. Obtenido de Papworths Construction Testing equipment. www.pcte.com: <https://www.pcte.com.au/paperschmidt-paper-roll-hardness>

Pfeiffer, J. D. (1971). *USA Patente nº 3,599,889*.

Pondercel. (2017). *Manual Capacitación. Conocimientos Básicos Producción Papel*. Cuauhtémoc: PONDERCEL, S.A DE C.V.

Roisum, D. R. (1988). *How to Measure Roll Quality*. USA: Tappi Journal.

Siemens(1). (27 de 03 de 2006). *Manual Programar con Step7, SIMATIC*. Obtenido de Industry Siemens Support, Document package 6ES7810-4CA08-8DW0: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/056/18652056/att_70833/v1/S7prv54_s.pdf

Siemens(2). (01 de 11 de 2006). *Manual S7-400 Hardware Configuración e Instalación. 6ES7498-8AA05-8DA0*. Obtenido de Industry Siemens Support, www.siemens.com: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/849/1117849/att_23823/v1/424ish_s.pdf

Siemens(3). (27 de 03 de 2006). *Manual Lista de instrucciones (AWL) para S7300 y S7400*. Obtenido de Industry Siemens Support ,Documentation Package 6ES7810-4CA08-8DW1: http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/AWL_s.pdf

Siemens(4). (27 de 03 de 2006). *Siemens Simatic , Step 7 from S5 to S7, Converter*. Obtenido de Industry Siemens support, Siemens AG: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/413/1118413/att_24456/v1/S5S7_e.pdf

Smith, R. D. (1989). *USA Patente nº 4,811,915*.

Smith, R. D. (2001). *The Art of Winding Good Rolls*. New york: Black Clawson Converting Machinery.

TAPPI. (01 de 02 de 1994). *Determination of paperboard roll hardness*. Obtenido de TAPPI T834 PM-94, Document pdf: <http://www.balibago.org/Files/Tappi/DOCS/T834.PDF>

Univ. Guadalajara. (03 de 12 de 1997). *Curso Tecnologías de la Fabricación del Papel, Documentos pdf*. Obtenido de Departamento de Madera Celulosa y Papel. (DMC y P): <http://maderacelulosaypapel.mx/investigacion>

Valmet. (1990). *Winder Control Calculati3n*. Järvenpää, Finland: Valmet Paper Machinery Inc.

Valmet. (02 de 01 de 2018). *Rick´s Tips- winding Principles, Part 2 Rider Roll Pressure (nip load)*. Obtenido de Valmet Technologies, Services and Automation www.valmet.com: <https://www.valmet.com/media/articles/up-and-running/performance/RTWindPrin2/>

Valmet. (02 de 01 de 2018). *Rick´s Tips- winding Principles, Part 3 Drum torque Ratio*. Obtenido de Valmet Technologies Services and Automation www.valmet.com: <https://www.valmet.com/media/articles/up-and-running/performance/RTWindPrin3/>

Valmet Appleton. (1990). *PLC- Based Rider Roll Control System. BCC* . Jävenpää, Finland: Valmet Paper Machinery Inc.

Valmet Paper. (1989). *Technical Specification and Operating Instructions*. Jävenpää, Finland: Valmet Paper Machinery Inc.

Valmet paper. (1990). *Operating Instructions for Winder Manual*. Jävenpää, Finland: Valmet Paper Machinery Inc.

Virtanen, T. (2006). *Fault Diagnostics and Vibration Control of Paper Winders*. Espoo, Finland: Helsinki: University of Technology.

Vishay. (27 de 05 de 2012). *Vishay Systems Weighing and Force Measurement solutions*. Obtenido de Vishay Intertechnology, Inc. Rider roll System . Vishay BLH, Vishay Nobel: http://www.euro-view.com/Download/Vishay_Paper_RRS_VishaySystems_UK.pdf