

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE UN  
BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL:  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:  
PEDRO ESCOBEDO MARCHENA**

**PROMOCIÓN  
1997 – I**

**LIMA - PERU  
2014**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE UN  
BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL**

**DEDICATORIA:**

A mis padres por su optimismo, sacrificio y abnegado cariño, a mi hermana por sus consejos para superación.

Así mismo a mi hijo y mi señora a quienes quiero, que son mi motivo de superación.

## **SUMARIO**

La finalidad de realizar este proyecto es incrementar la productividad en 100%, así como mejorar el rendimiento de la operatividad de las máquinas en el proceso de la fabricación de cartón.

En la actualidad existen fábricas de papel que producen bobinas fuera de medida o sobrantes de sus procesos, fuera de formato, su precio es menor a las bobinas enteras de un solo ancho de papel. Para esta aplicación se requiere de dos o más bobinas de papel que sumadas y pegadas dan el formato de ancho de bobinas de papel 2.2 m.

Mediante éste proyecto se controla las variables principales en todas sus partes del proceso: velocidad, tensión, cantidad de goma, alineamiento, con el fin del pegado uniforme y correcto de dos o más papeles.

Para que en la etapa siguiente se obtenga un formato de bobina normalizado de papel de 2.2 m, el planificador del proceso de la máquina debe combinar pedidos con las medidas de las cajas de los clientes para lograr el mejor rendimiento del proceso y disminuir la merma, restos de papel y cartón sin usar. De esta manera se usa de forma aceptable estas bobinas de papel, se reduce los costos y se eleva la productividad.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Desbobinadores y sistema Mecánico de guidores.....	6
Figura 1.2 Accionamiento de Cilindro Neumático mediante Servo – Motor de un alineador de papel .....	6
Figura 1.3 Alineador de papel con aplicación de rodillo y control neumático p/ servo Motor	7
Figura 1.4 <i>Skaiver</i> superior.....	7
Figura 1.5 <i>Skaiver</i> inferior.....	8
Figura 1.6 Controlador de flujo de Goma EPC – 12P.....	9
Figura 1.7 Rebobinadora.....	9
Figura 2.1 Tipos de desbobinadores con accionamiento en su centro.....	11
Figura 2.2 Bobinador con accionamiento de rollo en su superficie.....	11
Figura 2.3 Bobinador de torre.....	11
Figura 2.4 Velocidad lineal de bobinador.....	12
Figura 2.5 Tensión del papel.....	12
Figura 2.6 Bobinador con rollo danzarín.....	14
Figura 2.7 Bobinador con celda de carga.....	14
Figura 2.8 Bobinador con acumulador.....	14
Figura 2.9 Mandril.....	15
Figura 2.10 Bobinador con accionamiento por fajas envolventes.....	15
Figura 3.1 Fotografía de un sistema bobinador de banda de papel.....	18
Figura 3.2 Esquema para un sistema bobinador de papel.....	19
Figura 3.3 Estructura del sistema.....	19
Figura 3.4 Controlador PID.....	21
Figura 3.5 Identificación de ejemplos.....	21

Figura 3.6 Proyección singular de valores para un modelo MIMO LTI.....	23
Figura 3.7 Estructura del método de incertidumbre aditivo.....	24
Figura 3.8 Simulación y medición de datos para la velocidad del papel vs el tiempo.....	25
Figura 3.9 Valores singulares de los tres modelos LTI.....	28
Figura 3.10 Estimador óptimo.....	29
Figura 3.11 Simulación y medición de datos para el sensor virtual.....	30
Figura 4.1 Diferentes configuraciones para bobinador con accionamiento en su entro.....	33
Figura 4.2 Un bobinador con accionamiento en su centro.....	33
Figura 4.3 Diagrama de bloques simplificado para la zona de tensión de la banda de papel..	35
Figura 4.4 Curvas para inercia del sistema y frecuencia variando el diámetro del rollo.....	35
Figura 4.5 Bobinador con controlador por rollo danzarín.....	36
Figura 4.6 Modelo mecánico de un sistema de rollo danzarín.....	37
Figura 4.7 Diagrama de bloque simplificado para bobinador en la zona de tensión de papel y sistema danzarín.....	38
Figura 4.8 Lazo abierto de bobinador con regulador de torque. Para simplificar el límite de sobre velocidad este no es mostrado.....	39
Figura 4.9 Respuesta de tensión típica para un bobinador con controlador de lazo abierto con torque de paso.....	40
Figura 4.10 Regulador de torque, bobinador con controlador de tensión. Para simplificar, el circuito de límite de sobre velocidad no es mostrado.....	41
Figura 4.11 Diagrama de bloques para un regulador de torque, bobinador con controlador de tensión. La tensión de alimentación con sentido directo es ignorada en el diagrama.....	41
Figura 4.12 La respuesta de frecuencia al lazo abierto para un bobinador regulador de torque con un controlador PI bien diseñado.....	42
Figura 4.13 Respuesta de tensión para un regulador de torque, bobinador con control de tensión para diferentes frecuencias naturales y controladores.....	42
Figura 4.14 Regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.....	43

Figura 4.15 Diagrama de bloques para un regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.....	44
Figura 4.16 Diagrama de bode para la planta en el regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.....	44
Figura 4.17 Respuesta de tension para regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.....	45
Figura 4.18 Regulador de torque, bobinador con controlador de posición. Para simplificar el límite de sobre velocidad del circuito no es mostrado.....	45
Figura 4.19 Diagrama de bloque para regulador de torque, bobinador con controlador de posición.....	46
Figura 4.20 Diagrama de bloques simplificado para regulador de torque, bobinador con controlador de posición.....	47
Figura 4.21 Respuesta de posición y tensión de un regulador de torque, bobinador con controlador de posición con controlador.....	47
Figura 4.22 Regulador de velocidad, bobinador con controlador de posición.....	48
Figura 4.23 Diagrama de bloque para regulador de velocidad bobinador con controlador de posición.....	48
Figura 4.24 Respuesta para posición y tensión de un regulador de velocidad bobinador con controlador de posición.....	49
Figura 4.25 Comparación de respuesta de tensión para regulador de torque y bobinador con regulador de velocidad para cambios de la velocidad lineal.....	49
Figura 4.26 Diagrama simplificado de un lazo de velocidad.....	50
Figura 4.27 Comparación de respuesta de posición para regulador de velocidad, Bobinador con controlador de posición y lazo de velocidad con adaptación de ganancia...	50
Figura 5.1 Vista frontal del Controlador MPC-4.....	61
Figura 5.2 Panel del Operador de la Unidad MCP-4.....	62
Figura 5.3 Panel posterior de la unidad MCP-4.....	62

Figura 5.4 Cable de conexiones rápidas.....	63
Figura 5.5 Conexiones de cableado en campo.....	64
Figura 5.6 Conexiones de Válvula y sensor (fotocélula).....	65
Figura 5.7 Botones de la Interfaz del Operador.....	66
Figura 5.8 Botones de navegación.....	67
Figura 5.9 Pantalla de menú.....	67
Figura 5.11 Velocidad mínima.....	68
Figura 5.12 Velocidad máxima.....	69
Figura 5.13 Presión PT1.....	69
Figura 5.14 Presión PT2.....	69
Figura 5.15 Modo de medida.....	70
Figura 5.16 Modo de medición en temporizador.....	70
Figura 5.17 Controladores de Alineamiento FIFE – Polaris.....	71



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>TEORÍA DE LA MÁQUINA BOBINADORA DESBOBINADORA DE PAPEL.....</b>	<b>4</b>
1.1 Funciones que se realizan en la máquina.....	4
1.2 Módulos de la máquina.....	5
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>METODOLOGÍA DE CONTROL MÁQUINAS BOBINADORAS DESBOBINADORAS.....</b>	<b>10</b>
2.1 Tipos de desbobinadores .....	10
2.2 Conceptos físicos .....	11
2.3 Técnicas de aplicación.....	13
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MÉTODOS DEL CONTROL POR CÁLCULO MULTIVARIABLE DE SISTEMA BOBINADOR DE PAPEL.....</b>	<b>16</b>
3.1 Introducción. ....	16
3.2 Sistema Bobinador de banda de papel....	17
3.3 Diseño experimental.....	20

3.4 Identificación del sistema bobinador de papel.....	22
3.4.1 Modelo único MIMO LTI.....	22
3.4.2 Modelos locales MIMO LTI .....	23
3.4.3 Estimación de incertidumbre.....	24
3.5 Resultado y validación de los modelos.....	24
3.6 Estimación óptima para los radios de bobinadores de papel.....	27
3.6.1 Control óptimo.....	27
3.6.2 Radio estimado de la bobina.....	29

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS FÍSICO PARA EL CONTROL CON ACCIONAMIENTO**

<b>EN CENTRO DE BOBINADOR DE PAPEL.....</b>	<b>31</b>
4.1 Introducción .....	31
4.2 Modelado de sistemas.....	32
4.3 Análisis y esquemas.....	38
4.3.1 Lazo abierto para bobinador con regulador de torque.....	39
4.3.2 Regulador de torque, bobinador con controlador de tensión.....	39
4.3.3 Regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.....	41
4.3.4 Regulador de torque, bobinador con controlador de posición.....	44
4.3.5 Regulador de velocidad, bobinador con controlador de posición.....	46
4.4 Comparaciones y análisis de los resultados.....	47

## **CAPÍTULO V**

<b>SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL.....</b>	<b>55</b>
5.1 Controlador discreto de goma.....	55
5.1.1 Funciones del control proporcional del fluido de goma con controlador EPC– 12P...55	
5.1.2 Descripción del control proporcional de fluido EPC – 12P.....	55
5.1.3 Componentes internos.....	56
5.2 Control automático de goma.....	59
5.3 Control de alineamiento del papel.....	70
5.3.1 Controlador maxcess FIFE .....	70
5.3.2 Conexiones.....	72
5.3.3 Funciones y definiciones del controlador maxcess.....	73
5.4 Controlador de velocidad del papel y del proceso.....	73
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO A</b>	
<b>PLANOS TEORÍA DE LA MÁQUINA BOBINADORA DESBOBINADORA</b>	
<b>DE PAPEL.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO B</b>	
<b>PLANOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO C</b>	
<b>LÁMINAS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL.....</b>	<b>89</b>

**ANEXO D**

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE ANÁLISIS DE COSTOS.....100**

**BIBLIOGRAFÍA.....105**

## INTRODUCCIÓN

La empresa PAPELSA con una antigüedad de 30 años está dedicada al rubro de papel y cartón siendo el producto final los envases de cartón para el mercado local y exportación principalmente para los rubros de alimentos y agroindustrial. La producción mensual debe ser como mínimo 1000TN de cajas de cartón.

Los costos de papel a nivel mundial se han incrementado notoriamente, en este sentido el *side roll* o formatos sobrantes de bobinas con anchos comunes de 60 cm, 1.20 m, 1.50 m; que pueden ser adquiridos a menor precio en el mercado local e internacional y éstos son la materia prima para la aplicación. Se pegan 2 o 3 papeles y se obtiene el formato de ancho de la máquina corrugadora 2.2 m, por tanto el diseño e implementación del sistema de control de automatización de un bobinador y desbobinador de papel es crucial para reducir los costos de materia prima y entonces la productividad se beneficia.

La máquina bobinadora cuenta con dos entradas de papel, las cuales se desbobinan con apoyo de dos porta bobinas, luego pasan a un sistema de lijado en sus bordes para el respectivo pegado en el proceso. Controlándose el alineamiento del papel, la aplicación de goma y se dispone de un control de velocidad en proceso durante la operación.

Los controles deben ser confiables y automáticos para obtener un pegado adecuado y un correcto enrollamiento de la bobina, de no ser así se ocasiona merma y paradas en la línea corrugadora.

El objetivo de la empresa es suministrar inicialmente el 30% de bobinas pegadas a través de la máquina en estudio, cumpliendo este objetivo con lo que la empresa es más competente y con mejor margen de ventas respecto a otras del rubro nacional. El informe consta de seis capítulos:

En el capítulo I se define la teoría de la maquina bobinadora desbobinadora de papel, describe las funciones que realiza la planta así como la descripción de los módulos de control.

En el capítulo II se describe los fundamentos teóricos, de tipos de desbobinadores, conceptos físicos, técnicas de aplicación y control para entender la aplicación en las diferentes etapas de la máquina propuesta.

En el capítulo III se realiza el Estudio teórico del cálculo Multi Variable de un sistema bobinador de papel, con experimentos se obtiene los diseños, identificación de sistemas bobinadores de papel, resultados de los modelos, estimados óptimos para los radios óptimos del bobinador de papel.

En el capítulo IV se describe el Análisis Dinámico para el Control con Accionamiento en centro del Bobinador de Papel, a través del estudio del modelo del sistema, los análisis, esquemas, comparaciones, discusiones y conclusiones.

El Capítulo V se realiza el estudio teórico de los sistemas electrónicos de control para la máquina propuesta. Se inicia el capítulo con el Control Discreto de Goma, sus funciones, descripciones de control, componentes, interfaz de regulación, conexiones y ajustes iniciales para la operación.

El control de Goma mediante un Controlador Automático MCP – 4 Valco, con la descripción, sistema de Control, características básicas, Instrucciones y programación.

El alineamiento del papel se controla con el Equipo Maxcess FIFE, con el fundamento teórico del controlador y sensor, se describe la función y aplicación.

El papel y la máquina se controlan con el variador de velocidad Delta C 2000.

En el capítulo VI se analiza los costos, cuadro de gastos del proyecto, gasto de materiales y fabricaciones, el cronograma de ejecución del proyecto con uso del *software Project 2013* con diagramas de actividades e hitos de las diferentes fases del proceso.

También se describe conclusiones, se anexan: bibliografías, planos, láminas y cuadros que ayudan a comprender mejor el Informe.

Finalmente, el estudio contribuirá a enriquecer el caudal de investigaciones que se vienen desarrollando en el campo de la Ingeniería electrónica en nuestra Institución educativa y el país en General.

Desde el punto de vista académico, el estudio servirá como fuente de información para la realización de una serie de trabajos de investigación, al mismo tiempo que servirá como antecedente para estudios que tengan relación con las variables de investigación presentes.

Presento el informe Final al Honorable Jurado calificador, a los estudiantes, de nuestra Alma Mater y al público lector, con la esperanza que cumpla su propósito: Profundizar y enriquecer el conocimiento humano.

Expreso mi profundo reconocimiento a todas las personas que, de una u otra manera han influenciado en la realización de este informe, mis agradecimientos van para las siguientes personas, Ing. Carlos Medina, Ing. Julio Díaz, Ing. José Machuca, mis Padres Esperanza Marchena Delgado y José Guillen Henríquez, Mi hermana Roció Guillen, mi señora Lynn Trujillo Heighes.

## **CAPÍTULO I**

### **TEORÍA DE LA MÁQUINA BOBINADORA DESBOBINADORA DE PAPEL**

#### **Objetivo**

Diseñar de un sistema de control para el sistema de bobinación y desbobinación para incrementar la productividad de una planta industrial de papel.

#### **Alcances**

- Describir el sistema propuesto.
- Proponer los instrumentos de control.
- Sintonizar el controlador proporcional.
- Ajustar los equipos de alineamiento óptico y sus accionamientos neumáticos.
- Ajuste y control del dosificador de goma.
- Integración del conjunto como sistema en operación.

El sistema propuesto está compuesta por seis bloques como sigue: Desbobinadores, Sistema mecánico de guidores, Alineadores, Skaivers, Sistemas de aplicador de goma, Rebobinadora.

El diseño de la máquina es mostrado en el Anexo A, Plano N° 1.1.

#### **1.1 Funciones que se realizan en la máquina**

Con el nuevo sistema de control se incrementa la productividad a través de la unión de bobinas de menor ancho de banda en la máquina corrugadora (incremento de velocidad y disminución de tiempos perdidos). La materia prima se selecciona por gramajes iguales, estos pueden ser de distintos fabricantes.

Se disponen bobinas gemelas de acuerdo al gramaje, ancho de banda y peso de la bobina de acuerdo a lo solicitado por el área de producción de la corrugadora. La operación de esta máquina debe ser eficiente de tal forma que la merma producida sea menor al 1% en lo que respecta a las pérdidas de papel al inicio de cada apareado de bobina.



El mejor control y calidad preferentemente se produce en línea debido que las demoras disminuyen la productividad y retrasos en la atención al cliente.

## **1.2 Módulos de la máquina**

Los módulos de la maquina son:

### **Desbobinadores [1]**

Los desbobinadores están antes del aplicador de adhesivo, su función es desbobinar el papel a una tensión establecida por el usuario. Esta tensión debe ser constante durante el proceso. La tensión del material se controla mediante frenos de zapatas que se activan mediante presión neumática regulada.

Posteriormente el material pasa por los alineadores de banda. Que son dispositivos que permiten alinear el papel en uno de sus bordes, La etapa desbobinadora se visualiza en la figura 1.1.

### **Sistema mecánico de guidores**

Este sistema se sitúa después de los desbobinadores y hasta antes de la rebobinadora, encargándose de guiar el recorrido de las bandas de papel por toda la planta para alinear, pegar, regular las tensiones y finalmente rebobinar el papel.

El sistema de guidores se muestra en el diseño del Anexo A, Plano N° 1.2, la etapa mecánica de todo el sistema de guidores también se aprecia en la Figura 1.1.

### **Alineadores de banda [1]**

El proceso requiere de dos alineadores de banda. El primero se encuentra en un borde del recorrido de la banda de papel 1 y tiene la función de alinear el material a la entrada del *skaver*. El segundo se localiza en un borde de la otra banda de papel 2 y su función es centrar el material a la entrada del otro *skaver* para unirse luego en el pegado con cola con el otro borde del papel. Los alineadores de banda son dos rodillos cilindros que gracias a un movimiento circular consiguen mover el material hacia la izquierda o la derecha hasta lograr corregir las posibles desviaciones del material. El rodillo cilíndrico es accionado por un pistón neumático el cual es controlado por el servo motor, se visualiza en las figuras 1.2 y 1.3.

### ***Skavers* (piedras circulares de lijado).**

En esta etapa se cuenta con dos unidades las cuales se encargan de lijar el borde de la banda de papel de las bobinas en todo su recorrido de tal manera con ayuda de la cola se lleguen a pegar y superponer de tal forma que no se pueda notar mayor grosor en la unión.



**Figura 1.1** Desbobinadores y sistema Mecánico de Guiadores



**Figura 1.2** Accionamiento de Cilindro Neumático mediante  
Servo – Motor de un alineador de papel



**Figura 1.3** Alineador de papel con aplicación de rodillo y control neumático por Servo – Motor.

Estas están instaladas de una forma que ayudan en el recorrido y el traslape para la unión respectiva.

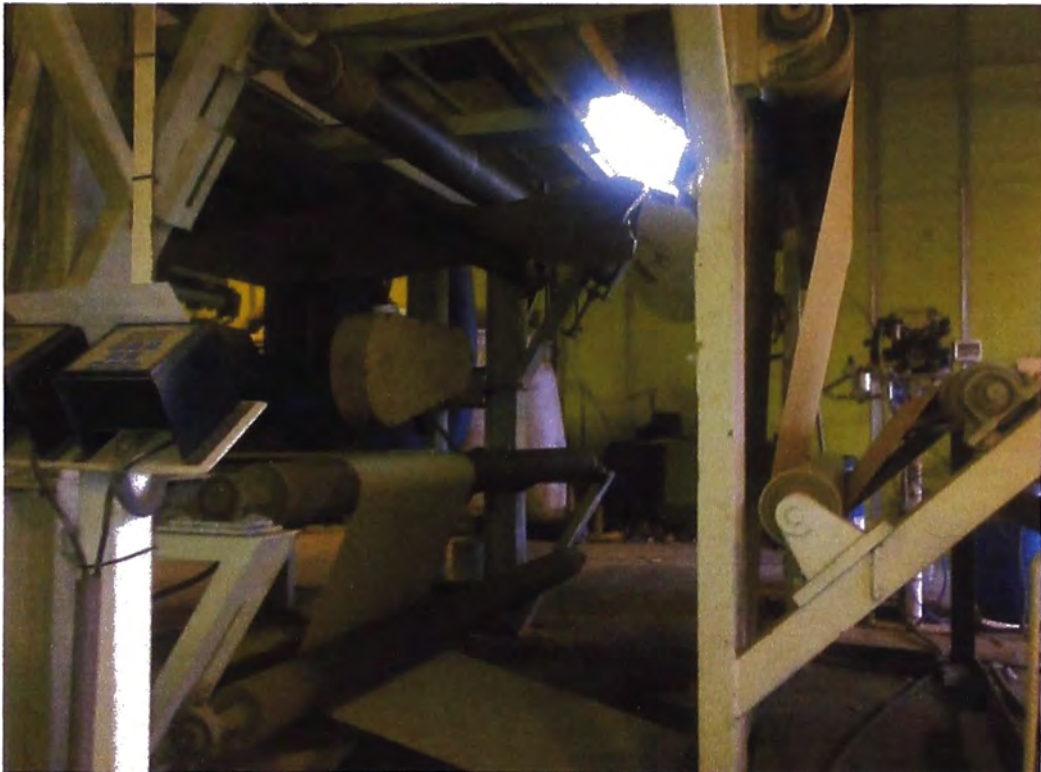
Los *skaivers* de la máquina se visualizan en las Figuras 1.4 y 1.5.



**Figura 1.4** *Skaiver* superior.

### Sistema de control de goma.

El sistema de control de goma es electrónico con aplicación neumática al inyectar la cola respectiva para el pegado de los bordes de las bandas de papel, se eligió un control proporcional de flujo modelo EPC-12P marca Valco; con este equipo de control se regula presión, velocidad, así como ante cualquier variación de velocidad se dosifica y la aplicación de cola será homogénea, esto es posible con la ayuda de un sensor de presencia de papel, un encoder determina la longitud y velocidad del papel para que finalmente se controle la presión, el accionamiento de válvulas y quipos neumáticos para aplicar la cantidad de goma. El controlador de flujo de goma se visualiza en la Figura 1.6.

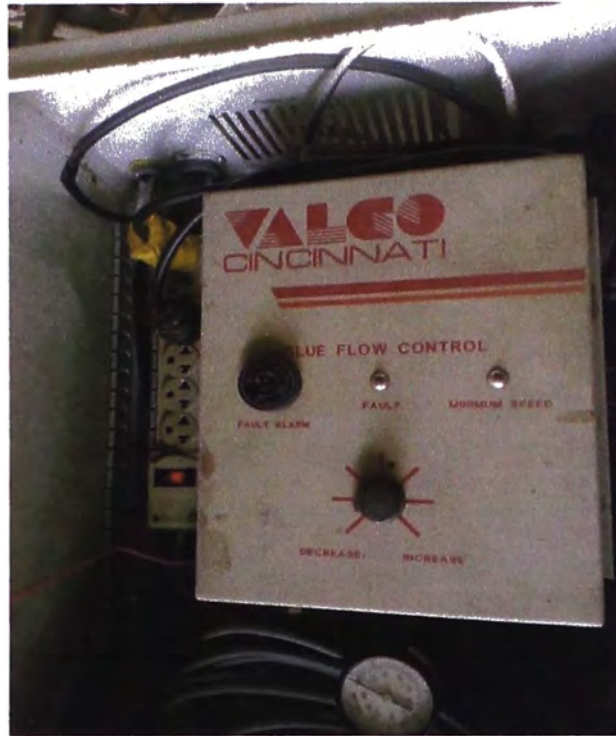


**Figura 1.5** *Skaiver* inferior.

### Rebobinadora

La rebobinadora se encarga de bobinar toda la banda de papel con tensión uniforme y alineada gracias a rodillos de acumulación y presión, además con apoyo de cuchillas en los extremos se da el ancho de banda deseado.

Este equipo tiene un control de velocidad por medio de variador de velocidad que se programa la velocidad mínima (*jog*) al inicio del proceso, es decir: después de regular las tensiones en los desbobinadores, alinear las bandas, regular los *skaiver* a través del lijado de los bordes de las bandas, controlar la cantidad y la ubicación de la cola.



**Figura 1.6** Controlador de flujo de Goma EPC – 12P

Paulatinamente se incrementa la velocidad controlando todas las variables y el proceso indicado anteriormente hasta llegar a la velocidad deseada de operación. Finalmente se terminara de envolver las bobinas a juntar (GEMELEADO). La etapa Rebobinadora se visualiza en la Figura 1.7.



**Figura 1.7** Rebobinadora.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE CONTROL MÁQUINAS BOBINADORAS DESBOBINADORAS

Un papel *liner* es enrollado en una bobina, es ligero y corre con poca tensión por lo que es descuidado por el operador. Si el espesor de papel es medido, con el diámetro calculado de la bobina se permite el cálculo para los espesores por envolver y completar lo requerido.

Un bobinador es “cualquier máquina para bobinar materiales”. Envolver es “para enrollar o cubrir con algo plegable”.

#### **2.1 Tipos de Desbobinadores [2]**

Los tipos de desbobinadores son:

##### ***Centerwind* (Desbobinador activado por su centro de bobina)**

Se bobina un material a través de un mandril o un control. Estos modelos son movidos en el centro de una bobina por el accionamiento de un motor controlado por reguladores de corriente y también reguladores de velocidad. También pueden usar rodillos bailarines o celdas de cargas para proveer controles precisos de tensión.

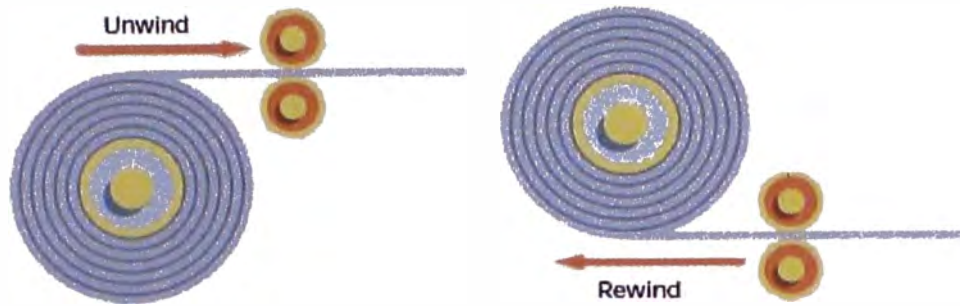
##### ***Surface winder* (el bobinador activado en su superficie)**

Este tipo de bobinador se acciona a través de rodillos desde su superficie para el bobinado del papel. Las bobinas de superficie trabajan con una velocidad lineal constante y también se utiliza los rodillos compensadores.

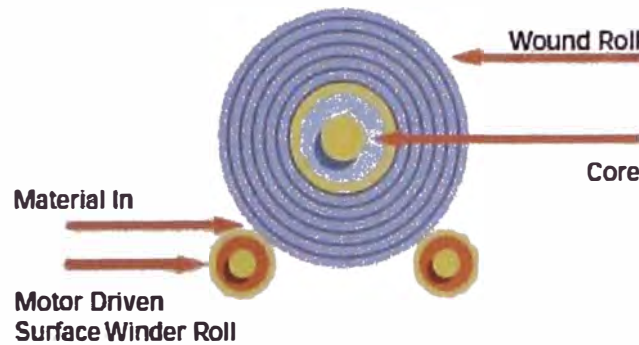
Otras configuraciones de bobinados de superficie usan una serie de fajas o rollos para sujetar las bobinas cuando estas se construyen.

##### ***Turret winder* (el bobinador de torre)**

Esta máquina usa dos o más bobinadores con accionamiento en su centro sobre un eje de rotación que le permite al siguiente bobinador este en posición correcta y en condición de iniciar a andar un rollo nuevo al vuelo. Una cuchilla corta el material en proceso y automáticamente sujeta el material mientras comienza una nueva bobina. El cálculo del

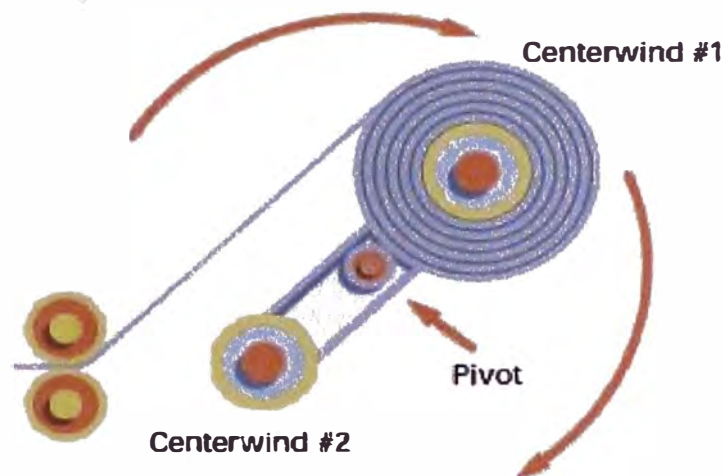


**Figura 2.1** Tipos de desbobinadores con accionamiento en su centro



**Figura 2.2** Bobinador con accionamiento de rollo en su superficie.

diámetro se requiere para la aplicación mientras la torrecilla se mueva con orden ya sea en una u otra dirección para que el operador tenga éxito en el trabajo.



**Figura 2.3** Bobinador de torre.

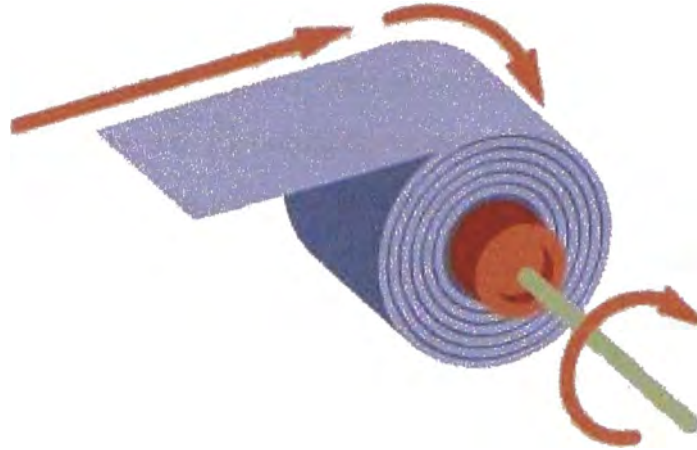
## 2.2 Conceptos Físicos

### Velocidad lineal

Es la velocidad de operación para un proceso coordinado, la velocidad del material en proceso expresado en metros por minuto, pies por minuto, etc. Este se acciona por un motor bobinando con el material a una velocidad constante. Si el material alimenta, el diámetro incrementa. Si la velocidad en el centro de bobina es constante y el diámetro aumenta la velocidad superficial

incrementara. La mayoría de procesos desean una velocidad lineal constante durante la operación del proceso, un incremento en la velocidad lineal es indeseable y debe ser compensado.

$$\text{Roll Circumference} = 2\pi \times \text{radius}$$



$$\text{RPM} \times \text{Circumference} = \text{Surface Speed}$$

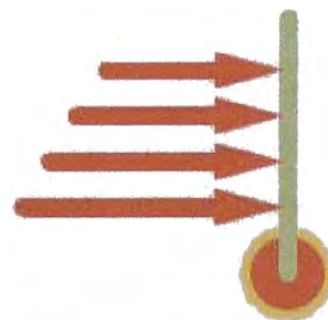
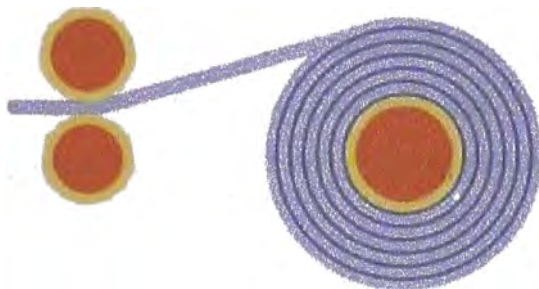
**Figura 2.4** Velocidad lineal de bobinador.

### Tensión

Es la fuerza longitudinal que existe sobre un material en proceso, en términos sencillos es la fuerza para jalar un material. La velocidad lineal para el proceso es constante con un rollo tensor. El motor del bobinador se controla por un variador que regula la corriente requerida.

Bobinando el material se usa un controlador de motor, el flujo corriente/constante sobre el motor se controla con un regulador de velocidad para el proceso. La tensión actual decrece con el diámetro. Este bobinador trabaja directamente en línea y no hay otras consideraciones en su operación, accionándose a tensión constante.

Constant Linespeed



$$\text{Tension or Force} = \frac{\text{torque}}{\text{radius}}$$

**Figura 2.5** Tensión del papel.



### 2.3 Técnicas de aplicación.

Un bobinado común y simple usa una velocidad constante lineal por medio de un rollo danzarín, el danzarín es un rollo mecánico que baila sobre el material. La posición del danzarín se mueve hacia arriba y abajo con apoyo de rollos fijos. La posición del danzarín (realimentación) se alimenta a través de un regulador con ajuste automático para bobinar con referencia de velocidad. Bobinar con el danzarín provisto de un *seteo* de tensión rudimentaria. Ejemplo descrito en la Figura 2.6. El bobinado se activa por un regulador de velocidad. La tensión del danzarín se incrementa a través de la carga del motor y depende del diámetro de la bobina.

El bobinado se activa por un regulador de velocidad. La tensión del danzarín se incrementa a través de la carga del motor y depende del diámetro de la bobina.

Esto es común en configuraciones de bobinados especialmente cuando:

- La velocidad es relativamente pequeña entre 60 a 90 m/min aproximadamente.

- El alto valor del radio minimiza el efecto de la inercia del material de proceso.

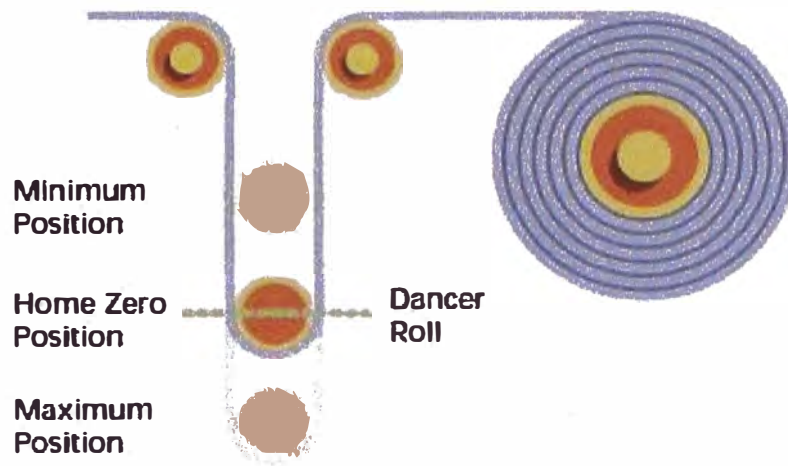
- La aceleración y desaceleración es relativa a penas 30s a 60s o más acelerado al incrementar la velocidad.

- El regulador danzarín tiene el tiempo para el ajuste a causa de las fricciones de las transmisiones mecánicas de la máquina e inercias.

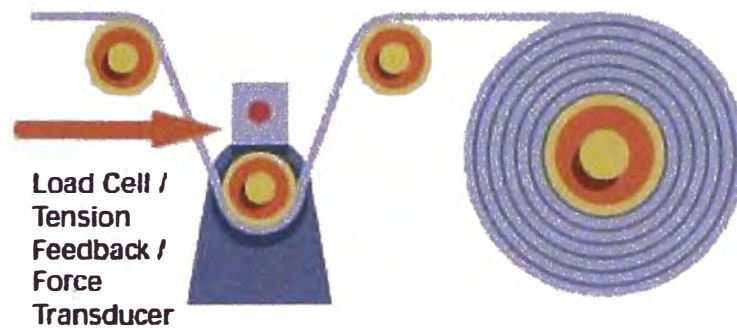
- El danzarín tiene movimiento ascendente y descendente (de almacenamiento o acumulación) para amortiguar los transitorios causados por la aceleración/deceleración, problemas mecánicos, cambios de inercia, etc.

De otra forma se obtiene la regulación de tensión constante por medio de una celda de carga que convierte la tensión en una señal eléctrica para su uso como realimentación a un regulador de tensión. El regulador ajusta el control de velocidad o control de la corriente del motor para mantener la tensión constante. Un ajuste por celda de carga con un control regulado para bobinadoras actuales es más común con un control sofisticado utilizando compensadores de inercia.

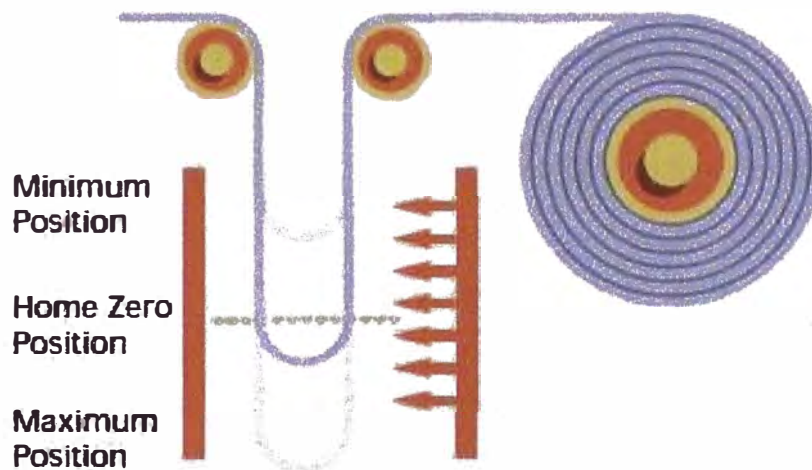
Un acumulador, también conocido como control de *bucle*, utiliza una configuración igual que un danzarín y se montara con el propio material, la realimentación se detecta por un fotosensor, sensor sonico u otro dispositivo.



**Figura 2.6** Bobinador con rollo danzarín.

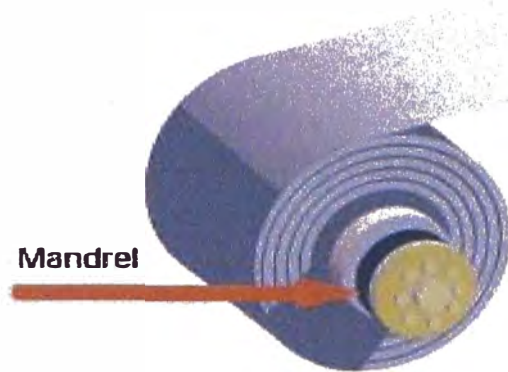


**Figura 2.7** Bobinador con celda de carga.



**Figura 2.8** Bobinador con acumulador.

Controles de bobinadores mas sofisticados utilizan construcciones adicionales como la medicion de longitud acumulada del papel, la parada automatica en una longitud acumulada, cola automatica cuando se inicia la bobina o al termino para cubrir la bobina con una capa de papel de proteccion, parada de posición de cuchilla de corte en los lados laterales para dar la medida del formato, etc.

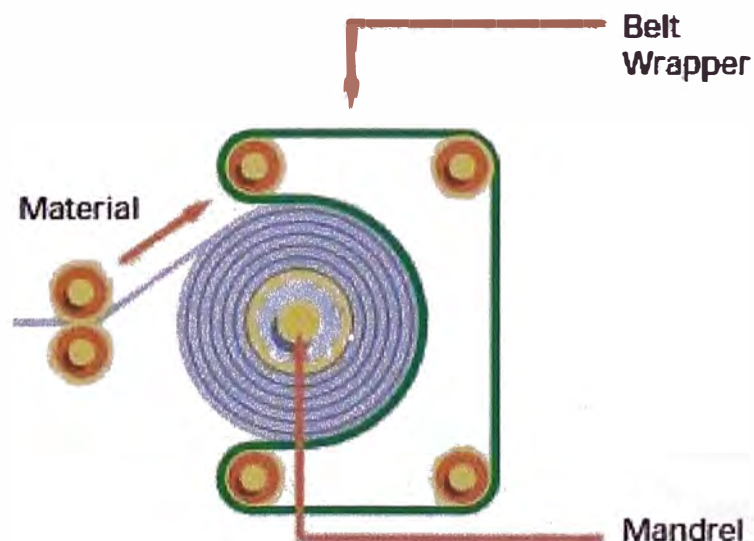


**Figura 2.9** Mandril.

Un mandril es lo que se utilizan en bobinadores con operadores para que tengan mas tiempo de control, en lugar de un nucleo metalico o tubo. Pinzas y envoltorios de correa se utilizan para obtener una bobina de metal comenzando en un mandril. Es un dispositivo de agarre, es un pequeño soporte mecánico a través de un mandril rebobinador. La aleta de agarre se abre cuando se inicia una nueva bobina y el extremo de la cabeza de material (normalmente una lámina de metal) se pasa por debajo de solapas de las pinzas. La pinza se cierra pellizcando el material y obligandolo a envolver alrededor del mandril cuando la rebobinadora comienza a girar y enrollar una nueva bobina.

Tipicamente con materiales mas rigidos, el material del proceso se introduce en la bobinadora mientras esta operando en exceso de velocidad, es decir, la velocidad superficial de la bobinadora es mas rapido que el material en la linea de proceso.

Con ayuda de un enrollador de correa, el material se enrolla firmemente alrededor de un mandril, y el enrollador de correa se movera fuera del camino una vez que se establece una envoltura suficiente.



**Figura 2.10** Bobinador con accionamiento por fajas envolventes

## CAPÍTULO III

### MÉTODOS DE CONTROL POR CÁLCULO MULTIVARIABLE DE SISTEMA BOBINADOR DE PAPEL [3]

Este capítulo presenta la identificación del sistema bobinado de papel y la estimación de su radio de bobina como parámetro variable en el tiempo. Este sistema no es lineal y varía con el tiempo, por lo tanto, modelos de sistemas lineales y de tiempo son estimados para regiones de operaciones locales. El calculador del radio de bobina es un “**sensor virtual directo**” (DVS) directamente diseñado con datos experimentales. Los modelos estimados se comparan con modelos simples, identificados por rangos de operaciones completos y los mejores resultados se obtienen con los modelos locales en una data fresca sin usar la fase de identificación. El (DVS) está disponible para calcular el radio de la bobina desde la tensión, velocidad y medición de la tensión, con buena precisión.

#### 3.1 Introducción

Actualmente, diferentes sistemas de control de tensión se pueden encontrar en la industria. Particularmente, cuando esta requiere materiales para bobinar o desbobinar como papel, telas, plástico, alambre, hojas y acero con la finalidad de garantizar las normas de calidad y mejoras en los productos. Estos sistemas regulan la tensión y la velocidad de los materiales como el transporte desde una parte a otra, por eso el proceso necesita un tiempo corto, asegurando que al final el producto no sufra deformaciones o roturas que bloqueen el proceso en línea.

El principal problema de estos sistemas es el comportamiento con la variación del tiempo. Esto es debido a la acumulación de material que causa variaciones en el radio de la bobina, dando como resultado cambios en el momento de inercia de la carga del motor por ejemplo. Estos sistemas tienen un parámetro de variación en el tiempo. Todos los sistemas bobinadores de papel o de materiales enrollados son un problema clásico en el área de control. Existen tres tipos de modelos matemáticos que se usan en un proceso dinámico para sistemas bobinadores de bandas de papel: El modelo de la caja blanca (*White Box*) basado en principios físicos, donde la naturaleza no lineal y variante en el tiempo del sistema

son ratificados. Para simplificar los controles algunos autores linealizan los modelos.

Por otro lado el modelo de caja negra (*Black Box*), basada en técnicas de sistemas de identificación, usando MIMO (Múltiples entradas, Múltiples salidas), LTI técnicas de sub-espacios y también agrupando un conjunto de MISO (Múltiples entradas, solo una salida). Finalmente la caja gris (*Grey Box*) donde son una combinación de los dos primeros tipos desarrollados, donde la fricción para el torque en cada motor es identificado usando al menos métodos cuadrados para datos asequibles de velocidad constante. La inercia de los motores y la ganancia para los torques son identificadas usando métodos adecuados.

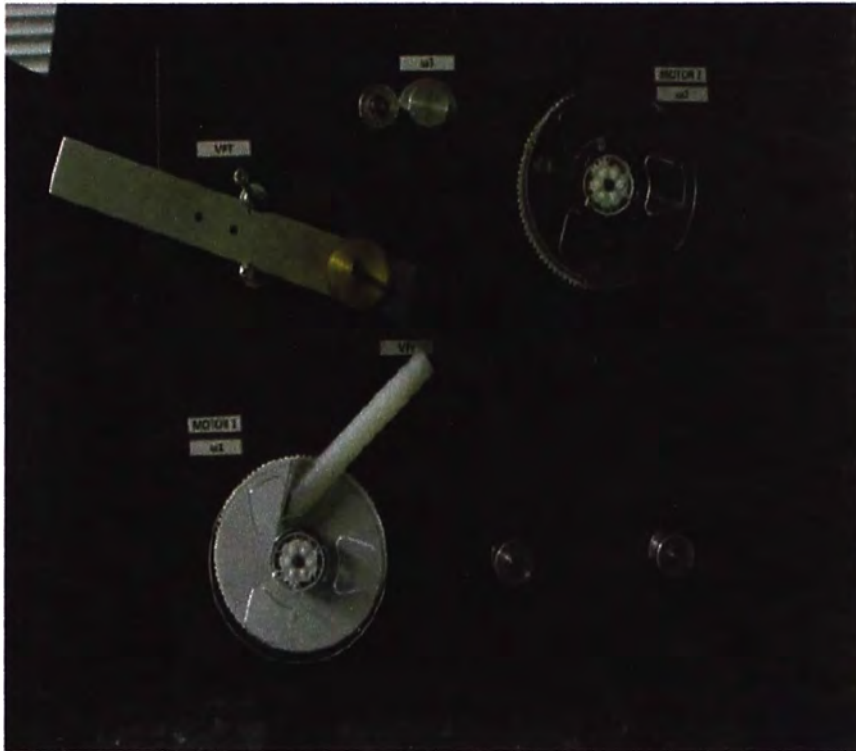
Un segundo problema en este sistema es el cálculo de parámetros no medibles, en la lectura de las técnicas siguientes usadas: “*Luenberger*” observó la construcción de un sistema de modelo desde sus conocimientos, observamos el modo deslizante, una red neuronal recurrente y filtros *Kalman*.

El presente documento nos enseña la identificación de una clase de sistemas LTI (Técnicas sub-espaciados) calculado en operaciones de diferentes regiones para el sistema bobinador de banda de papel. Los resultados se compararan con la performance de un modelo único de LTI estimado por el rango de operación completa. Una segunda contribución en el diseño virtual del sensor, para la estimación del radio de la bobina. El sensor virtual está diseñado en base a la data usada en las técnicas propuestas en referencia [11] [12].

El artículo se organiza de la siguiente manera sección 3.2 describe las máquinas de bobinado de papel. Sección 3.3 presenta los diseños experimentales. En la sección 3.4 la identificación de los sistemas de bobinado de papel. Sección 3.5 ilustraciones de los resultados experimentales y validación de los modelos. Sección 3.6 describe los cálculos óptimos.

### **3.2 Sistema bobinador de banda de papel**

Los sistemas bobinadores de banda de papel, como se muestra en la figura N° 3.1 es un modelo del laboratorio de una planta, donde se requiere del transporte del material a una tensión y velocidad deseada asegurando que la banda de papel no este rota o deteriorada. Este sistema está estructurado con los siguientes componentes: 2 motores DC con encoders ópticos ( $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ), conectados a cada bobina, un encoder óptico acoplado a una de las poleas como guía de la banda de papel ( $\omega_3$ ), un sistema de brazo movable, para que la rotación del eje ayude a alinear el potenciómetro ( $\Theta$ ) del calculador del radio ( $r_1$ ) para una de las bobinas.



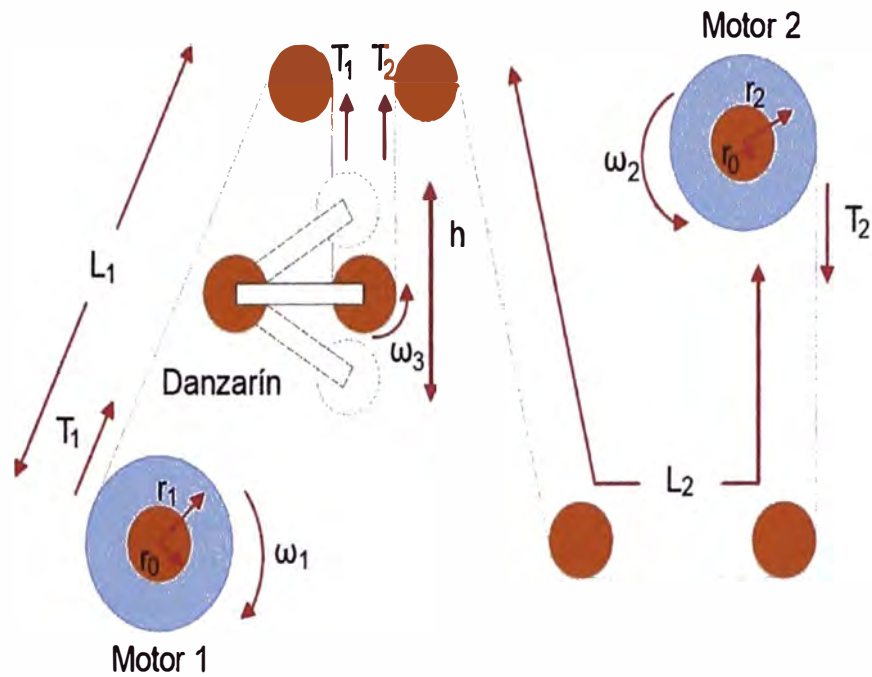
**Figura 3.1** Fotografía de un sistema bobinador de banda de papel.

La Figura 3.2 enseña el esquema de la operación en planta cuando la banda de papel se enrolla en el riel adjunto al motor 2, donde  $T1$  y  $T2$  son los tensionadores que afectan al sistema del brazo movable. La diferencia entre estas 2 tensiones genera el rápido transporte del material y la variación en la altura  $h$ ,  $r1$  y  $r2$  son los radios de las bobinas adjuntas a los motores 1 y 2, respectivamente.

Es importante notar que  $\Theta$  (posición del brazo movable) es una medida indirecta para la tensión de material en este tipo de sistema.

El sistema de bobinados de bandas de papel, por naturaleza, es no lineal y variable en el tiempo. Consecuentemente, por aplicarse a un sistema de control lineal, lo que hace imposible obtener una respuesta aceptable en términos de desechos del disturbio (o ruido), esto se observa en las diferentes respuestas transitorias sobre todo los puntos de operación para el sistema.

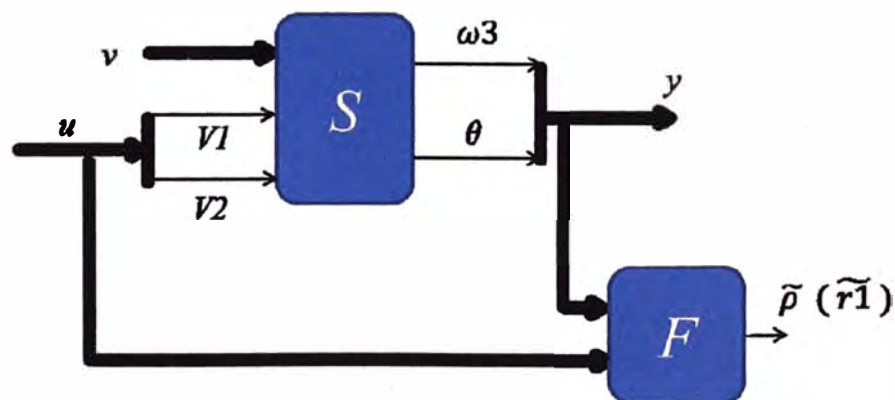
En pocas palabras, llego a ser necesario la obtención de información en línea desde la variación de parámetros en el tiempo a la determinación dinámica del sistema, esto se requiere para la implementación no lineal o estrategias de control LPV para obtener una respuesta satisfactoria del sistema



**Figura 3.2** Esquema para un sistema bobinador de papel.

Para los procedimientos de identificación el sistema de entradas son los voltajes de los motores ( $V1$  y  $V2$ ) y las salidas son la velocidad del material ( $\omega_3$ ) y la posición del brazo móvil ( $\Theta$ ).

El bloque del diagrama de la Figura 3.3 muestra la estructura del sistema, donde  $S$  y  $F$  representan el modelo del sistema (planta) y el filtro (estimador), respectivamente. La señal  $u$  ( $V1$ ,  $V2$ ) contienen todas las señales de entrada,  $v$  corresponde a las entradas no conocidas (debido a los disturbios o ruidos) de  $S$ , y ( $\omega_3$ ,  $\Theta$ ) contienen las salidas medibles para el



**Figura 3. 3** Estructura del sistema.

sistema  $S$ , y el símbolo  $\tilde{p}$  contiene la variación del tiempo estimado del parámetro. En este caso particular se requiere de un cálculo del radio  $r1$  de una bobina para un sistema

bobinador de banda de papel donde los cambios de banda de papel son transportados de una bobina a otro.

### 3.3 Diseño experimental

Los pasos del diseño experimental son:

#### Ejemplo de la frecuencia de selección

Es una regla para la selección de la muestra de tiempo, que se apunta la información del modelo anterior. En [10] se toma la muestra de tiempo de 100 ms y en [6] son usados 10 ms. En general, el sistema mecánico del sistema bobinador de banda de papel no debe exceder de una amplitud de banda (ancho de banda) de 10 Hz. De acuerdo a los análisis previos, 10 ms es óptimo como tiempo de muestra para su captura, procesamiento y control de las señales para el sistema bobinador de banda de papel.

#### Condiciones experimentales

El sistema bobinador de banda de papel anteriormente descrita, es inestable en lazo abierto, por lo tanto, para la recolección de datos, implementaremos 2 controles independientes PID, uno para el control del brazo movable y el otro para el sistema de velocidad del bobinador de banda de papel, como se muestra en la Figura 3.4. Los controles PID se colocan de manera experimental porque la planta es no lineal y variable en el tiempo. Los controles PID se ajustan para evitar completamente la saturación al paso de las regiones de operación, las funciones de transferencia (3.1) y (3.2) son:

$$PID_{\theta}(S) = 0.08(10^{-3}) + \frac{0.2(10^{-3})}{s} + 0.05(10^{-3})s \quad (3.1)$$

$$PI_{\omega_3}(s) = 0.5(10^{-3}) + \frac{0.1(10^{-3})}{s} \quad (3.2)$$

Siguiendo con la identificación de datos de un lazo cerrado de la planta se tiene riesgos de obtención de cálculos polarizados del modelo porque algunos modelos son dinámicos y pueden ser eliminados [8], se elimina por aplicar suficiente entradas de excitación.

#### Diseño de entradas

Estas señales se usan para la identificación, son casos de secuencias binarias (PRBS) y construyen señales como una suma de sinusoides (SINE), ambos con una máxima frecuencia de 1Hz. Para los PRBS una amplitud de  $\pm 3.5$  grados alrededor del control de referencia del brazo movable y una amplitud 21 rad/s se agregan a la referencia de control de la velocidad aplicada. Para la señal SINE se emplea una amplitud de  $\pm 8$  grados y  $\pm 48$  rad/s con 20 sinusoides empleadas.



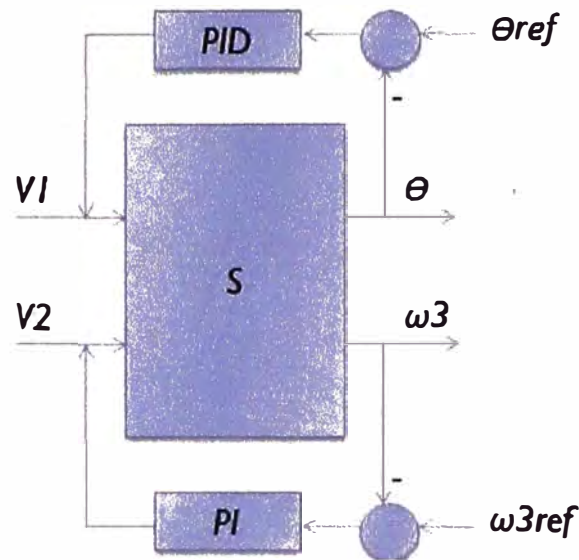


Fig. 3.4 Controlador PID.

brazo movable y una amplitud 21 rad/s se agregan a la referencia de control de la velocidad aplicada. Para la señal SINE se emplea una amplitud de  $\pm 8$  grados y  $\pm 48$  rad/s con 20 sinusoides empleadas.

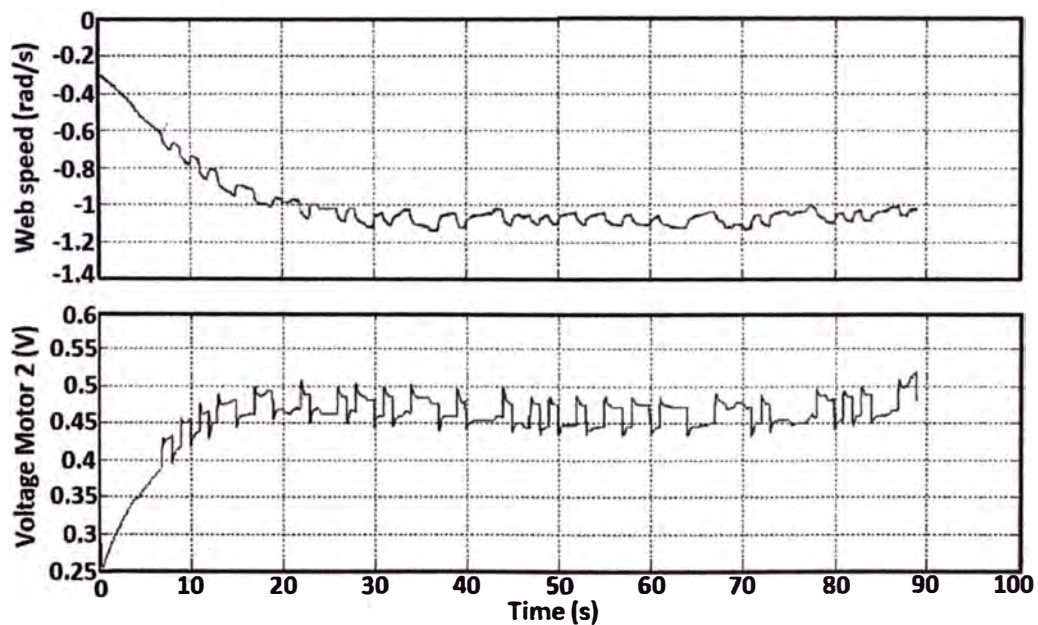


Figura 3.5 Identificación de ejemplos.

### Experimentos

La identificación de los experimentos se registra desde el momento donde no hay banda de papel en el motor 2, hasta el momento donde se llenan 4 experimentos con diferentes PRBS y SINE y estos son llevados a la salida. La Figura 3.5, se muestra una data con su equipo la identificación de datos de entrada de voltaje del motor 2 y la salida de velocidad de la banda de papel.

En orden a como se consideran los modelos locales, de los experimentos se ha dividido en 3 partes, (ver Tabla N° 3.1), cubriendo diferentes intervalos de un parámetro variable (radios de bobina). Se realizaran un total de 24 experimentos obteniendo los indicadores de la Tabla N° 3.1.

**TABLA N° 3.1** Radio  $r_1$  intervalo que corresponde a cada modelo

Modelo	$S$	$S1$	$S2$	$S3$
Intervalo	$0 < r_1 < 0.025$	$0.0167 < r_1 < 0.025$	$0.0084 < r_1 < 0.0167$	$0 < r_1 < 0.0084$
ID data	71200	23734	23733	23733
Validación data	17800	5934	5933	5933

Por otro lado se diseña el cálculo del radio óptimo, se usa los mismos experimentos que el modelo MIMO. El método del cálculo del modelo de identificación de sub espacio se usa por MIMO LTI, en particular, el algoritmo N4SID. Esta sección presenta la identificación de un modelo único MIMO LTI para todo el rango del sistema de operación, los modelos son identificados en 3 operaciones definidas en la Tabla N° 3.1.

LTI y 4 experimentos adicionales PRBS y 4 SINE donde se ejecuta con disturbios externos con suerte han generado un cálculo insensible a estos ruidos. 7 PRBS y 7 SINE son tomados como válidos. En total 16 experimentos se realizaron para el cálculo del diseño.

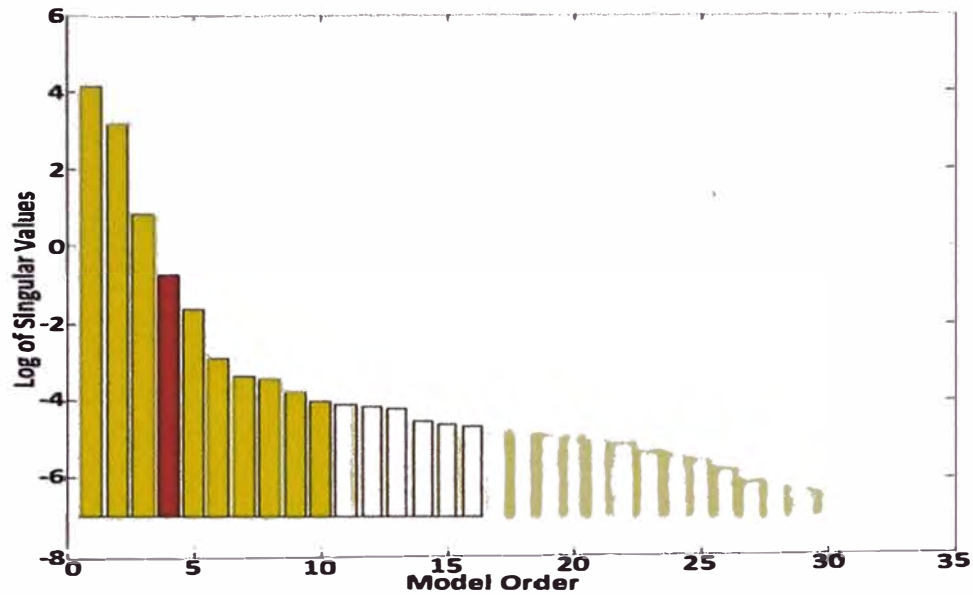
### 3.4 Identificación del sistema bobinador de papel

#### 3.4.1 Modelo único MIMO LTI

Para calcular el orden del sistema, los valores de las futuras salidas son la singular proyección oblicua, a lo largo de futuras entradas, en el pasado se ejecutaban las entradas y las salidas. Un cálculo estimado para un modelo de orden  $n$  es cuando los valores a la derecha de  $n$  son pequeños comparados con la izquierda en la Figura 3.6 nos muestra que el orden para el bobinador de banda de papel es 4. Un modelo de espacio y tiempo se obtiene con la siguiente figura 3.6.

$$x(k + 1) = [A][x(k)] + [B] \begin{bmatrix} V1(k) \\ V2(k) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\begin{bmatrix} \omega^3(k) \\ \theta(k) \end{bmatrix} = [C][x(k)] \quad (3.4)$$



**Figura 3.6** Proyección singular de valores para un modelo MIMO LTI.

Donde,  $X(\cdot)$  es el estado vector,  $A(\cdot)$  es la matriz  $B(\cdot)$  es la entrada de la matriz y  $C(\cdot)$  es la salida de la matriz donde se obtienen lo siguiente:

**TABLA N° 3.2** Valores propios de único modelo

$S$
-0.1857
$0.9645+0.0249i$
$0.9645-0.0249i$
0.9874

### 3.4.2 Modelos locales MIMO LTI

Se calculó 3 modelos locales de LTI para los intervalos del radio presentados en la Tabla N° 3.1, los valores singulares de una proyección oblicua para cada base de datos para las operaciones en las 3 regiones dictados en los modelos de cuarto orden son adecuados para explicar la data. Cada modelo tiene la forma de las funciones de transferencia (3.3) y (3.4). Los valores se muestran en la Tabla N° 3.3.

**TABLA N° 3.3** Valores propios de los modelos locales

S1	S2	S3
-0.0473	-0.0312	0.1876
$0.9714+0.0438i$	$0.9791+0.0437i$	0.8243
$0.9714-0.0438i$	$0.9791-0.0437i$	0.9459
0.9736	0.9779	0.9814

### 3.4.3 Estimación de incertidumbre

Una vez que los sistemas se identifican, es importante su cálculo asociado inciertamente con cada modelo en orden para obtener fuertes controles. Una manera de calcular los aditivos de incertidumbre  $\tilde{\Delta}$  (ver Figura 3.7) es evaluar el radio de la norma  $l_2$  del error de salida  $em$  de los datos de la validación del modelo y de  $l_2$  norma de entrada  $um$ , que es la función de transferencia (3.5):

$$\tilde{\Delta}i = \frac{\|em\|_2}{\|um\|_2} \quad (3.5)$$

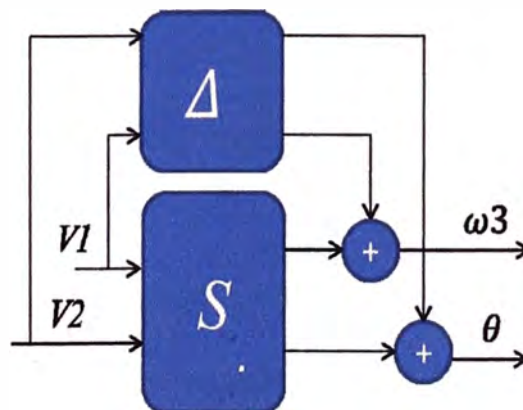
Aplicando esta expresión, el resultado se muestra en la tabla N° 3.5, como corresponde el peor caso en la validación de datos de cada modelo son calculados.

**TABLA N° 3.4** Cálculos de incertidumbre de cada modelo

Modelo	S	S1	S2	S3
$\tilde{\Delta}i$	0.8217	0.2776	0.3688	0.5488

Sin embargo cada modelo está representado por un modelo con 2 entradas y 2 salidas de orden -4 con un modelo aditivo incierto. Veamos la función de transferencia (3,6):

$$\begin{bmatrix} \omega 3(z) \\ \theta(z) \end{bmatrix} = (S_i(z) + \Delta i(z)) \begin{bmatrix} V1(z) \\ V2(z) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$



**Figura 3.7** Estructura del método de incertidumbre aditivo.

### 3.5 Resultado y validación de los modelos

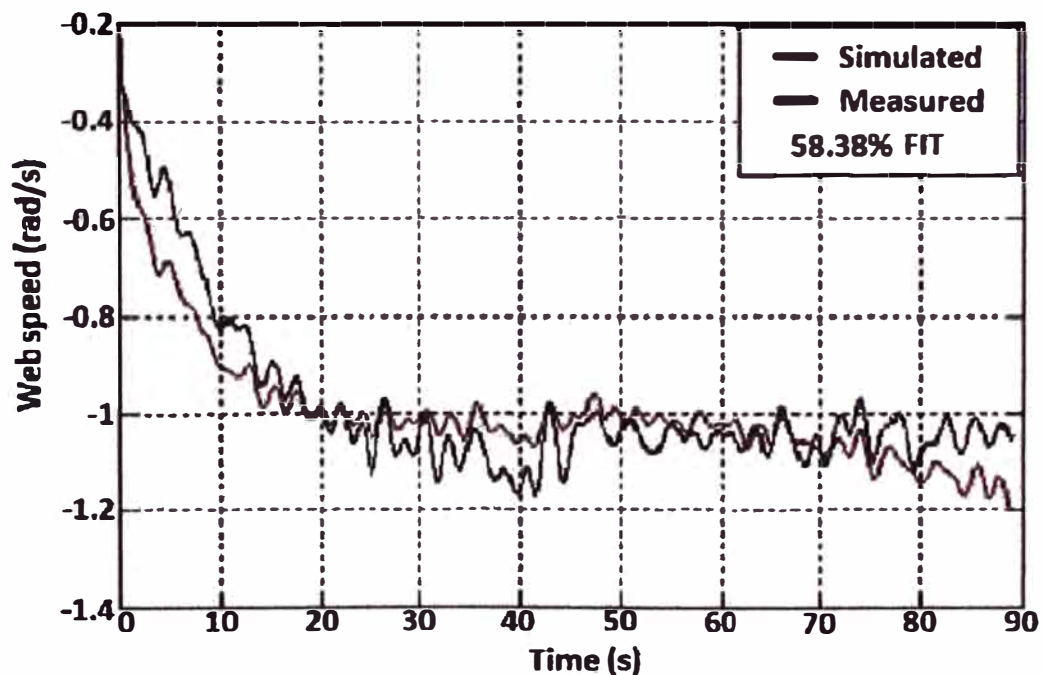
Ahora, los modelos calculados se evalúan con la validación de la data descrita en la sección 3.4. Primero el error de la simulación se evalúa, medida por el FIT, con la función de

transferencia (3.7):

$$FIT = \left[ \frac{1 - \|y(k) - \widehat{y}(k)\|_2}{\|y(k) - \overline{y}(k)\|_2} \right] 100 \quad (3.7)$$

Donde,  $y(K)$  es la medida de salida,  $y(k)$  el significado de la medida de salida y  $\widehat{y}(k)$  es la simulación del modelo de salida.

La Tabla 3.5 presenta el resultado de FIT en la simulación de diferentes MIMO LTI. Cuando el modelo solo usa S un FIT obtenido en la validación de datos es realmente pobre (ver la Figura 3.8) para una banda rápida, no debe exceder el 59% y para la posición del brazo movable no debe exceder del 26%. Por lo tanto, se puede afirmar que un modelo mimo LTI no puede representar todas las operaciones de un sistema físico. Este es el resultado esperado de características inherentes a las de la planta, esta es porque se decidió estimar diferentes modelos en orden más cerca de lo real.



**Figura 3.8** Simulación y medición de datos para la velocidad del papel vs el tiempo.

Cuando los 3 modelos se usan, el primer modelo S1 genera 2 veces un mejor cálculo que al realizado por S. Ambos en velocidad 4 ángulos. El modelo S2 tiene una ejecución similar a la de S1 así como S3 nos da una pequeña improvisación en el cálculo de la velocidad pero nos da un buen cálculo en el ángulo. En general, todos los modelos locales sobrepasan la ejecución del único modelo S.

**TABLA N° 3.5** Ajuste de todos los modelos MIMO LTI.

Un modelo	$S$ ( $0 < r_1 < 0.025$ )	
Validación	PRBS	SINE
$FIT$ (%)	$\omega_3 = 58.09, \theta = 20.42$	$\omega_3 = 58.38, \theta = 25.24$
Tres modelos	$S1$ ( $0.0167 < r_1 < 0.025$ )	
Validación	PRBS	SINE
$FIT$ (%)	$\omega_3 = 91.69, \theta = 42.21$	$\omega_3 = 91.07, \theta = 43.87$
Tres modelos	$S2$ ( $0.0084 < r_1 < 0.0167$ )	
Validación	PRBS	SINE
$FIT$ (%)	$\omega_3 = 80.62, \theta = 39.01$	$\omega_3 = 86.19, \theta = 21.45$
Tres modelos	$S3$ ( $0 < r_1 < 0.0084$ )	
Validación	PRBS	SINE
$FIT$ (%)	$\omega_3 = 65.75, \theta = 61.66$	$\omega_3 = 74.92, \theta = 57.38$

**TABLA N° 3.6** Errores en el modelo MIMO LTI con señal PRBS de validación.

Modelo	Salida	Error de la media cuadrática	Porcentaje error	Máximo error
$S$	$\omega_3$	0.0772	7.7161	0.2421
$S$	$\theta$	0.1651	16.5098	0.7257
$S1$	$\omega_3$	0.0188	1.8521	0.0347
$S1$	$\theta$	0.1103	10.9293	0.2681
$S2$	$\omega_3$	0.0486	4.669	0.1299
$S2$	$\theta$	0.1675	16.7062	0.4068
$S3$	$\omega_3$	0.0842	8.345	0.2208
$S3$	$\theta$	0.1041	10.4035	0.2303

La tabla N° 3.6 nos muestra que significa un error, el significado de un error absoluto, el porcentaje de un error y el máximo error para todos los modelos. Permiten  $(y(k))$  sean medidos con los datos de  $y(\tilde{k})$  y calculados con los datos del número  $N$ , el porcentaje de error se define por la función de transferencia (3.8):

$$\text{Porcentaje error} = 100 \left( \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N [y(k) - \widehat{y}(k)]^2}{\sum_{k=1}^N y(k)^2}} \right) \quad (3.8)$$

Para estos resultados, el sistema de banda de bobinado se aproxima al juego de modelos LTI. Si se calculan más de 3 sistemas, los resultados obtenidos se pueden mejorar. Sin embargo mientras aumente el número de sub modelos, disminuye la obtención de datos, generando problemas en el cálculo con calidad.

Es importante remarcar que la identificación de modelos no evitara los ruidos o disturbios. Las 2 entradas no siempre nos explican la dinámica completa de las sólidas.

El algoritmo N4SID puede calcular el ruido del modelo, pero esta técnica no debe aplicarse, porque el algoritmo explica la dinámica faltante de una entrada aislada con la bulla blanca la mejor estrategia sería identificar un modelo con estructura incierto para explicar la identificación de datos, para que esté actualmente en investigación.

Finalmente la Figura 3.9 se muestra valores singulares de los 3 modelos LTI. En general, todos los modelos tienen una respuesta plana a las frecuencias menores de 1 rad/s. Por otro lado en las secuencias mayores, S3 tienen mejor comportamiento porque se presenta con respuestas planas por valores singulares máximos. Mientras S1 y S2 presenta un máximo incremento para valores singulares alrededor de una frecuencia de 4.5 rad/s y luego vuelven a caer, en el valor mínimo, S3 presenta una baja significativa en una alta frecuencia, lo que dificulta el control del sistema cuando el motor está inerte S2 es de fácil control y de seguimiento que el S1.

### 3.6 Estimación óptima para los radios de bobinadores de papel

Diseñar un calculador óptimo para el radio de la bobina resulta todo un problema. El objetivo de calcular el radio es para eliminar el sensor físico que está en el motor 1 de la bobina.

La fricción generada por el sensor causa disturbios al sistema y produce que el material se deteriore y se enrolle. Ahora, esto explico una posible solución al problema.

#### 3.6.1 Control óptimo

El problema de obtener cálculos consiste en tomar en cuenta el criterio de rendimiento tales como variaciones mínimas, errores mínimos o máximos, mínimo costo de cierta función,

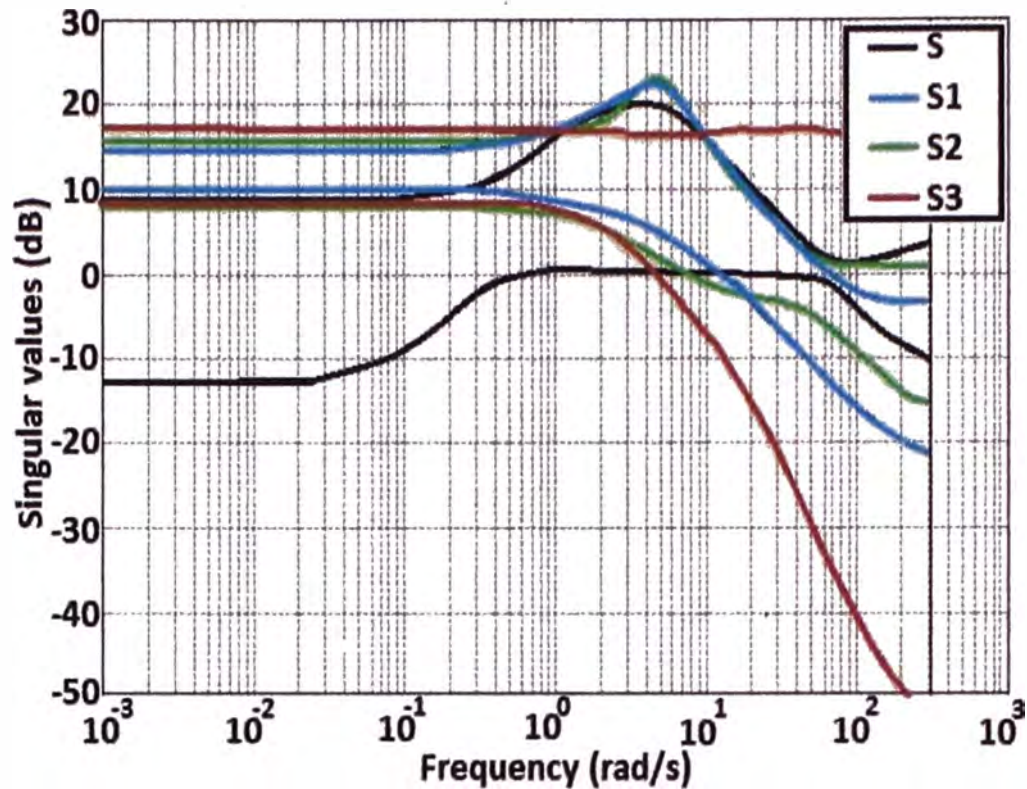


Figura 3.9 Valores singulares de los tres modelos LTI.

entre otros. Este problema se puede resolver de una manera clásica que consiste en la construcción de un filtro del sistema, o tal vez resolviéndolo desde la data  $Y$ ,  $U$  y  $P$ , como se muestra en [11] [12]. El cálculo del radio es identificado desde la data, con la construcción de un filtro directo o un sensor virtual de variación del tiempo permanente.

Considerando la Figura 3.10 Estimador óptimo:

a) Donde el sistema nos muestra  $S$  junto con las entradas  $u$ , medibles con las salidas  $y$  y una salida para ser calculada  $p$ . En los dos pasos producidos se requiere del conocimiento del modelo del sistema y de sus propiedades para diseñar un filtro óptimo, típico de filtros *Kalman*.

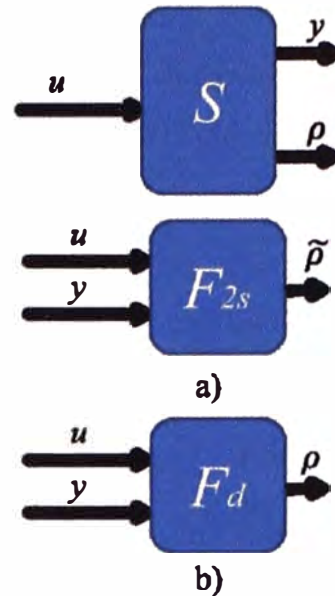
**Algoritmo 1.** Aproximacion clásica del filtro

- 1) Identificación del modelo  $[u(k), y(k)] \rightarrow S$
- 2) Designación de filtro.  $F_{2s}(S)$

Una aproximación directa desarrolla un filtro como se muestra en la Figura 3.10.

b) En este caso, el filtro, está basado en un sistema de técnicas identificadas. En este único pasó que se produce, no se requiere de saber el modelo pero es indispensable la medición con





**Figura 3.10** Estimador óptimo.

a) Filtro clásico apropiado

b) Filtro directo o sensor virtual directo (DVS)

instrumentos de salida que las calculan desde la fase de diseño.

**Algoritmo 2.** Filtro directo o sensor virtual directo (DVS)

1) Identificación del modelo del filtro.

$$[(u(k), y(k)), y(k)_{nm}] \rightarrow F_d$$

En [11], se ha demostrado que en casos lineales la variante calculada de los dos pasos es mejor que la de un paso, si hay cálculos inciertos estos son definidos en la función de transferencia (3.9):

$$E \left[ (y(k)_{nm} - y(k)_{\overline{nm}, 2s})^2 \right] \geq E \left[ (y(k)_{nm} - y(k)_{\overline{nm}, d})^2 \right] \quad (3.9)$$

En este artículo se usan aproximaciones directas.

### 3.6.2 Radio estimado de la bobina

En este caso, el sistema de entrada  $u$ , por el cálculo de los voltajes de los motores 1 y 2, la velocidad de la banda  $w_3$  y la posición del brazo movable  $\Theta$  están en la salida  $y$ , el radio  $r_l$  es la salida  $w$  calculada. Las mediciones son explicadas en Tabla 3.6. La medición del radio fue filtrada a 3rad/s para borrar los valores atípicos de los ruidos y disturbios. Para calcular el

orden del visor virtual, como el caso de identificación, la proyección oblicua es evaluada. El orden del sistema estimado es 1. La Figura 3.11 nos muestra la simulación de los resultados de un sensor virtual. El FIT es 80.9% el modelo filtrado es obtenido de las funciones de transferencia (3.10) y (3.11):

$$x(k+1) = [0.99][x(k)] + \begin{bmatrix} -3.61(10)^{-5} \\ -6.16(10)^{-7} \\ -1.71(10)^{-8} \\ 1.22(10)^{-6} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} V1(k) \\ V2(K) \\ \omega3(k) \\ \theta(k) \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$\widehat{r1}(k) = [0.58][x(k)] \quad (3.11)$$

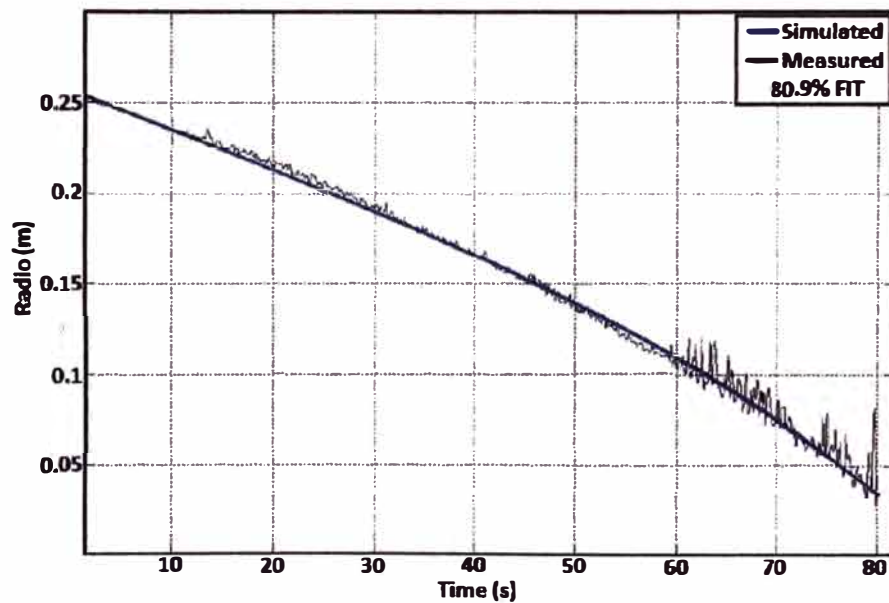


Figura 3.11 Simulación y medición de datos para el sensor virtual.

## **CÁPITULO IV**

### **ANÁLISIS FÍSICO PARA EL CONTROL CON ACCIONAMIENTO EN CENTRO DE BOBINADOR DE PAPEL [4]**

Para un comprensivo análisis dinámico para el accionamiento en el centro de un bobinador de papel, en primer lugar la elaboración de modelos dinámicos y los comportamientos de los sistemas bobinadores son descritos. A continuación las diferentes estrategias de control son analizadas y comentadas. Resultados de la simulación se presentan también para ilustrar el comportamiento dinámico de diferentes estrategias de control. Finalmente las consideraciones para seleccionar las estrategias adecuadas de control.

#### **4.1 Introducción**

Los bobinadores con accionamiento en su centro son componentes importantes en el manejo del papel, plásticos, acabados en acero y máquinas de conversión, el objetivo principal de los controles de bobinados es mantener la tensión o tiro de bobinado del proceso. El rendimiento de los mandos del bobinado afecta directamente la calidad de los productos. Los avances de la electrónica de potencia con variadores de velocidad y las tecnologías informáticas de software y hardware de control han hecho posible un alto rendimiento y precisión de mandos del bobinador. Una mejor comprensión del comportamiento dinámico del bobinador se convierte en un adecuado diseño del control, más corto en los momentos de las puestas en marcha con el rendimiento del sistema con control óptimo.

Una breve revisión y configuración de planos de control del bobinador se puede encontrar en [1], las comparaciones de las técnicas de control del bobinado en el que se hace hincapié en la unidad de motor y selecciones de los bobinados en [2]. En los últimos años, el modelado y control de sistema de gestión de papel han atraído más atención. La modelización dinámica del control del papel y la tensión se presentan en [3], [10]. Los problemas y soluciones de los controles de tensión de papel se examinan en [4]. El papel dinámico longitudinal fue modelado y los resultados de la simulación de los modelos se comparan con los resultados experimentales en [5]. El control de la tensión del papel mediante el transductor de fuerza y

el rollo danzarín como realimentación (*feedback*) son comparados y discutidos, los efectos de la velocidad y el rendimiento del lazo de velocidad sobre las características del *multi – spam* de los sistemas transportadores de papel estudiados en [7].

Estos recursos mencionados son una buena base para el análisis que ha de ser examinado en este documento.

Ninguno de los anteriores ha prestado atención a los aspectos dinámicos para los bobinadores con accionamiento en el centro y particularmente a las estrategias de control de bobinados que actualmente se aplica en la industria y que se estudiara en este capítulo.

Un análisis de estrategias de control de bobinados con accionamiento en el centro se utiliza en la industria actual. El documento está organizado de la siguiente manera:

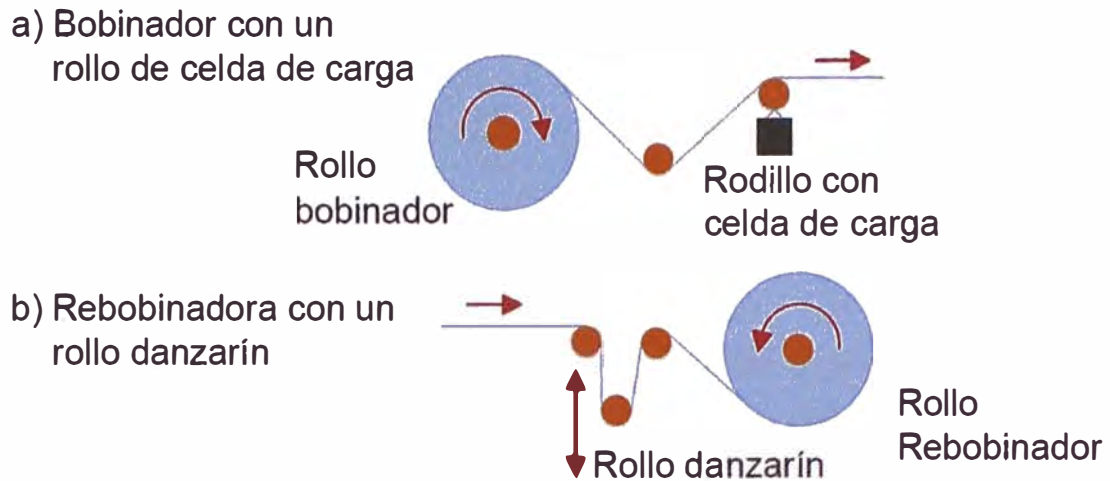
En la sección 4.2, el modelado en los sistemas de control del bobinador incluyendo la transmisión del accionamiento, la dinámica del papel y el sistema del rollo danzarín son descritos. En la sección 4.3, las estrategias diferentes del control se analizan y discuten con énfasis en los aspectos dinámicos. Por último, sobre la base de los resultados de los análisis, las consideraciones para seleccionar las estrategias de control para el bobinador de papel con accionamiento en el centro son sugeridos. Los resultados de la simulación se presentan también para ilustrar el comportamiento dinámico de diferentes estrategias de control.

#### **4.2 Modelado de sistemas**

Existen diversas configuraciones mecánicas de bobinados de papel con accionamiento en su centro. Dos configuraciones diferentes se muestran en la Figura 4.1. Uno de ellos muestra una sección bobinador con un rollo de celda de carga midiendo la tensión del tiro (papel) que se controla. El otro es una sección rebobinadora con un rollo danzarín cuya posición es la que se debe controlar. Para una presentación concisa, la estructura de la máquina para una rebobinadora es mostrada en la Figura 4.2. Sin embargo, los resultados de análisis también se aplican a otras configuraciones para enrollar y desenrollar. Ver el apéndice para nomenclatura.

A) La dinámica de papel y el tren de mando (accionamiento). El modelamiento detallado para la dinámica de papel, el accionamiento del tren de mando y el rollo danzarín se encuentran en [3], [6] y [19]. Se tendrá en cuenta:

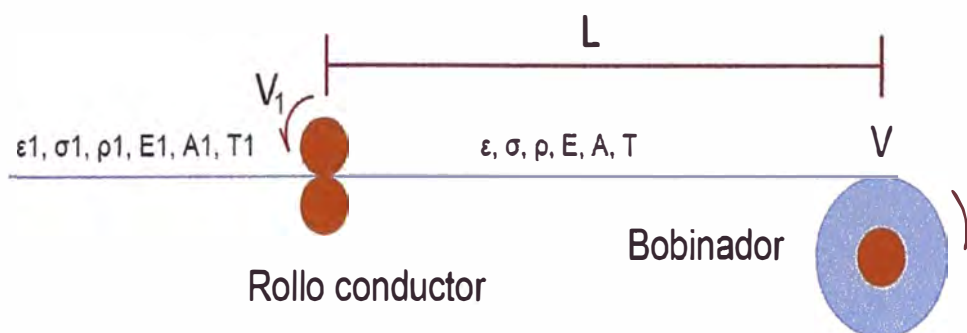
- 1) La velocidad  $V_1$  del rollo metálico conductor es constante.
- 2) El área de la sección transversal  $A$  para el papel es uniforme.



**Figura 4.1** Diferentes configuraciones para bobinador con accionamiento en su centro.

B) La dinámica de papel y el tren de mando (accionamiento). El modelamiento detallado para la dinámica de papel, el accionamiento del tren de mando y el rolo danzarín se encuentran en [3], [6] y [10]. Se tendrá en cuenta:

- 3) La velocidad  $V_1$  del rolo metálico conductor es constante.
- 4) El área de la sección transversal  $A$  para el papel es uniforme.



**Figura 4.2** Un bobinador con accionamiento en su centro.

- 5) La tensión es el cambio de longitud dividido por la longitud sin cambios por el material y  $\epsilon \ll 1$ .
- 6) La deformación para el papel es elástica.
- 7) La densidad para el papel no ha cambiado es decir  $\rho = \rho_u$ .

El modelamiento para la dinámica del papel está basada en las leyes:

$$\frac{d}{dt}(\rho A) = \rho_1 A_1 V_1 - \rho A \quad (4.1)$$

$$\sigma = E\varepsilon + C \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad \sigma = \frac{T}{A} \quad (4.2)$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_u}{L_u}, \quad \rho A L = \rho_u A_u L_u \quad (4.3)$$

En la ecuación (4.1) es debido al principio de la conservación de la masa para el papel entre el conductor y el rollo bobinador. En la ecuación, la parte izquierda representa un cambio de la cantidad de material de papel almacenado entre los rollos conductores y el bobinador, y en el lado derecho indica el equilibrio entre el material que entra entre el rodillo conducido y el material que está extendido sobre el rollo bobinador. La ecuación (4.2) es la ley de la elasticidad y la definición para el esfuerzo (tensión). La ecuación (4.3) es la definición de la tensión y la continuidad de la masa. Las ecuaciones (4.1) y (4.2) definen las características dinámicas para la zona de tensión del bobinador de papel. Utilizando las hipótesis anteriores, las relaciones se simplifican con la ecuación siguiente:

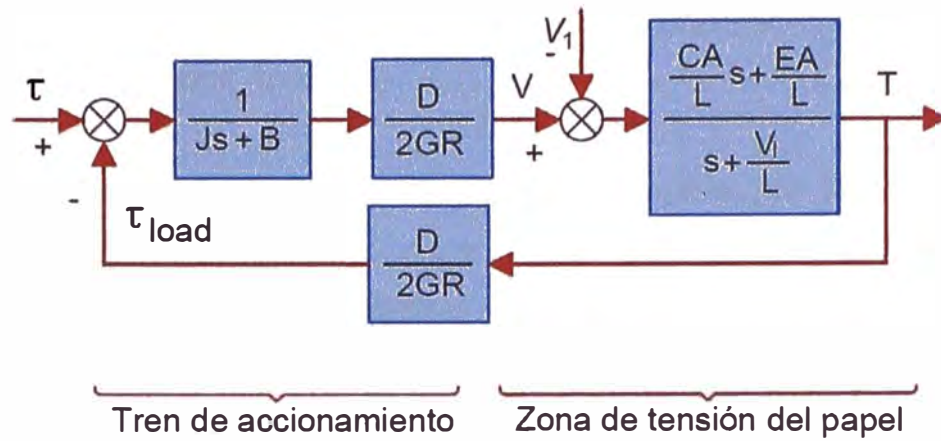
$$L \frac{dT}{dt} = EA(V - V_1) + T_1 V_1 - TV + CA \frac{d}{dt}(V - V_1) \quad (4.4)$$

La ecuación (4.4) describe de forma adecuada el comportamiento dinámico dominante de la zona de tensión del papel y se utilizan en la simulación y análisis en este resultado. El tren de mando consta de un motor, una caja de cambio y el rollo devanado. Por la segunda ley de Newton en el motor del bobinador existen:

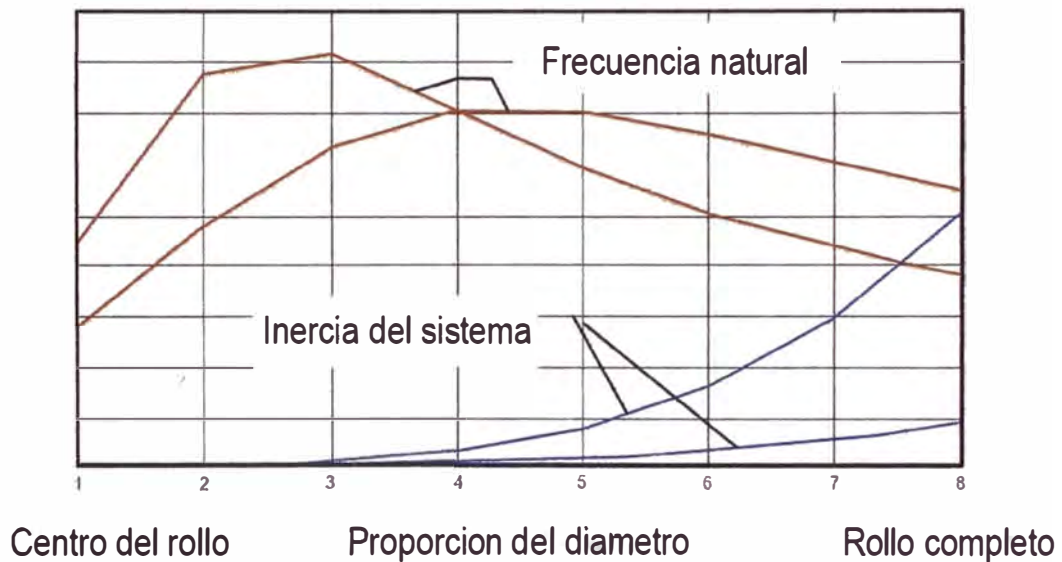
$$J \frac{d\omega}{dt} = \tau - \tau_{load} - B\omega \quad (4.5)$$

De las ecuaciones (4.4) y (4.5), el diagrama de bloques linealizado con la Figura 4.3 puede ser construido. La función de transferencia de segunda orden con dominio S desde el torque del motor para la tensión de papel tiene como:

$$\frac{T}{\tau} = \frac{\frac{D}{2GR} \frac{EA}{JL} \cdot \left(\frac{C}{E}s + 1\right)}{s^2 + \left(\frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{CA}{JL}\right)s + \frac{B}{J} \frac{V_1}{L} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{EA}{JL}} \quad (4.6)$$



**Figura 4.3** Diagrama de bloques simplificado para la zona de tensión de la banda de papel.



**Figura 4.4** Curvas para inercia del sistema y frecuencia variando el diámetro del rollo

Comparando con el sistema de segundo orden estándar, puede obtenerse la ecuación (4.7):

$$\omega_p = \sqrt{\frac{BV_1}{JL} + \frac{D^3}{4GR^2} \frac{EA}{JL}}, \zeta_p = \frac{1}{2\omega_p} \cdot \left( \frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{CA}{JL} \right) \quad (4.7)$$

Cuando  $\omega_p$  y  $\zeta_p$  son la frecuencia natural y amortiguamiento para el sistema de la Figura 4.3 se observa que un polo simple real  $V_1/L$  domina la tensión de respuesta para un cambio de velocidad para el rollo bobinador. Cuando  $V_1 = 0$  ó la línea es una condición puesta, la respuesta de tensión tiene un comportamiento integral desde la ecuación (4.6) esto puede ser fundada con la respuesta de tensión para el par motor que es dominado por un par de polos con frecuencia natural  $\omega_p$  y factor de amortiguamiento  $\zeta_p$ .

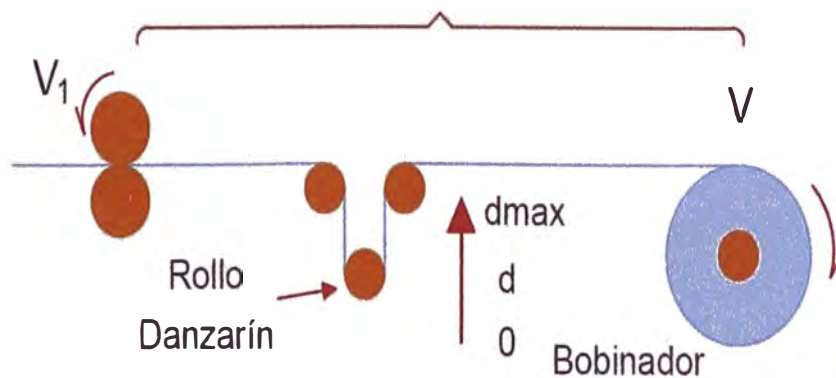
La frecuencia natural y el amortiguamiento son parámetros importantes que afectan el diseño y la performance del sistema de control.

La frecuencia natural es calculado por la configuración mecánica para la maquina ( $D$ ,  $GR$ ,  $J$  y  $L$ ), las propiedades para el papel ( $E$ ,  $A$ ), y la velocidad lineal ( $V_1$ ). El amortiguamiento natural es atribuido por la fricción del sistema mecánico ( $B$ ), la velocidad del papel ( $V_1$ ), y el amortiguamiento del papel ( $C$ ). Los efectos para diámetros de carga sobre la inercia del sistema y la frecuencia natural son vistos en la Figura 4.4.

Con el incremento del diámetro del rollo bobinador, la inercia se incrementara exponencialmente hasta la 4<sup>ta</sup> potencia para el diámetro. La frecuencia natural se incrementara voluntariamente primero y voluntariamente decrecerá, como la inversa de la 2<sup>da</sup> potencial del diámetro, antes había alcanzado su valor máximo. Notar que la frecuencia natural tiene un valor mínimo y con cualquier razón o sobre la proporción del diámetro acumulado depende del máximo diámetro del rollo sobre la proporción del diámetro acumulado y la configuración de la máquina y propiedades del papel. La mejor condición para el control del bobinador son cuando voluntariamente la línea es una condición puesta y el sistema esta con una frecuencia mínima natural.

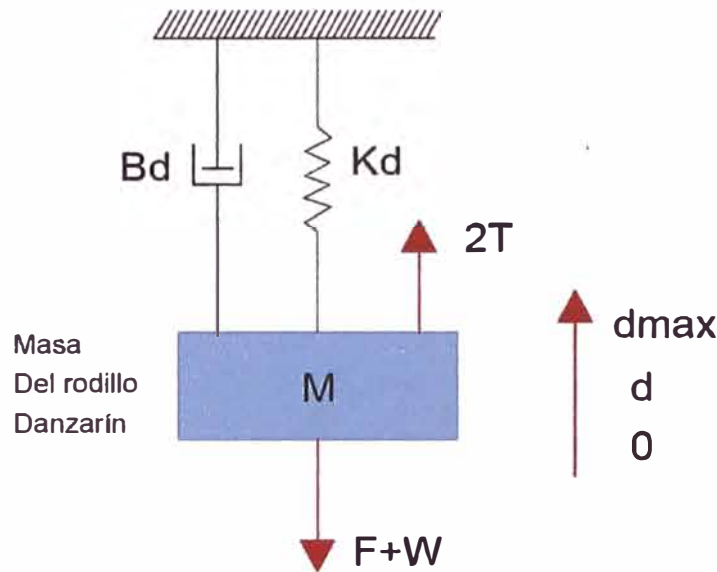
Analizando y observando desde la Figura N° 4.4 indican que la frecuencia mínima natural puede ser cualquier valor entre el máximo rollo y que el control de sintonía con ambos rollos inicial y rollo máximo deben ser considerados.

$L$  es la longitud total de la banda de papel cuando el rollo danzarín esta con valor  $d=0$



**Figura 4.5** Bobinador con controlador por rollo danzarín.





**Figura 4. 6** Modelo mecánico de un sistema de un rollo danzarín.

### Sistema rollo danzarín

Un modelo detallado para el sistema de rollo danzarín se revisa en [3] y [6]. Un sistema danzarín como el revisado en la Figura 4.5 y con un modelo mecánico en la Figura 4.6 es considerado en nuestro estudio. Se tendrá en cuenta:

- 1)  $d$  es el desplazamiento del rollo danzarín en la Figura 4.5. La velocidad de desplazamiento del rollo danzarín es  $V_d = dd/dt$ .
- 2) Los tiros (tensiones) sobre cada lado del rollo danzarín están en forma paralelas y se muestran en la Figura 4.5. La longitud para el papel entre los rollos es  $(L - 2d)$ , donde  $L$  es la longitud del tiro total cuando el sistema danzarín es máximo (donde  $d=0$ ).
- 3) La fuerza  $2T$  para la tensión  $T$  es aplicado en el danzarín. Cuando lo simplificamos, la ecuación (4.1) puede ser modificado como:

$$\frac{d}{dt}(\rho A(L - 2d)) = \rho_1 A_1 V_1 - \rho A V \quad (4.8)$$

Similarmente, la ecuación de la tensión puede ser obtenida como:

$$L \frac{dT}{dt} = EA(V - 2V_d - V_1) + T_1 V_1 - T(V - 2V_d) + CA \frac{d}{dt}(V - 2V_d - V_1) \quad (4.9)$$

Usando la ley de Newton para el rollo danzarín se obtiene:

$$M \frac{d^2 d}{dt^2} + B \frac{dd}{dt} + k_d d = 2T - F - W \quad (4.10)$$

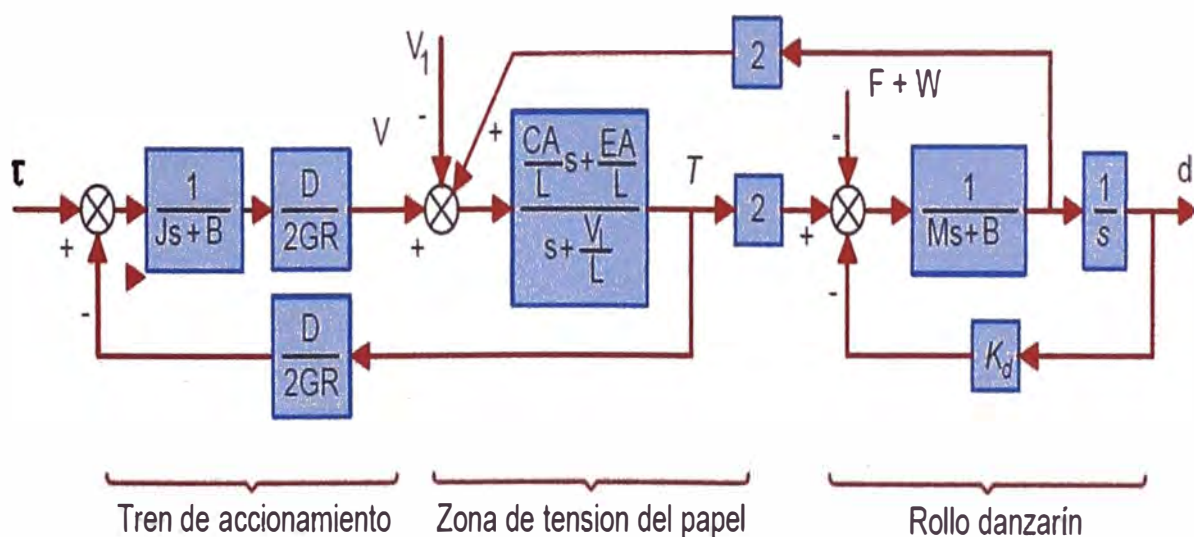
Con las ecuaciones (4.9) y (4.10), el diagrama de bloques que se muestra en la Figura 4.7, se puede contrastar. Esto puede ser visto desde el diagrama como el polín danzarín refleja la carga de la tensión del papel. Notar que la tensión del papel es también afectada por la fricción del rodillo danzarín, la inercia del rollo danzarín y otro elemento danzarín no lineal. Estos factores no son considerados en este análisis, cuando se considera un material de papel con un modelo muy largo Young, la función de transferencia puede ser simplificada por una integral.

$$\frac{d}{(V - V_1)} = \frac{1}{2s} \quad (4.11)$$

Con las experiencias de las aplicaciones mostradas en la industria, el modelo integral en la ecuación (4.11) describe su comportamiento dominante para el sistema del rodillo danzarín.

### 4.3 Análisis y esquemas

Hay muchos controles con diferentes estrategias para bobinadores con accionamiento en el centro, cinco configuraciones de control pueden ser discutidos en este documento. En los esquemas a ser discutidos, el “regulador de torque” la manera que la tensión o modificación de la posición del regulador a una referencia de torque perfilado para el sistema bobinador, mientras el sistema de accionamiento con el regulador de posición modifican un perfil de referencia de velocidad para el sistema del bobinador con mecanismo de accionamiento.



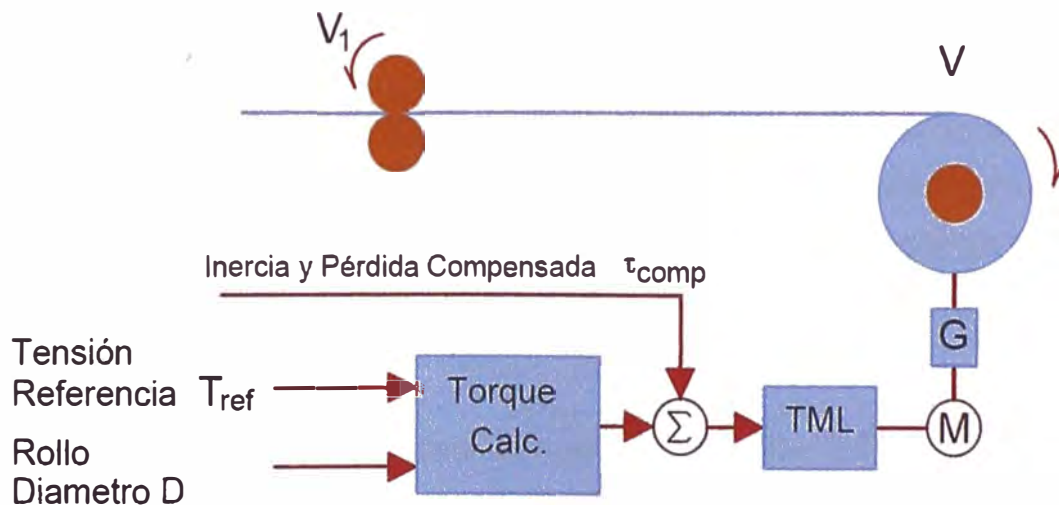
**Figura 4.7** Diagrama de bloque simplificado para bobinador en la zona de tensión de papel y sistema danzarín.

### 4.3.1 Lazo abierto para bobinador con regulador de torque

Este es un esquema con un control bobinador simple que se aplica para una clase de bobinados con bajos requerimientos de poca performance para control de tensión.

Las configuraciones de los esquemas de control se muestran en la Figura 4.8. La tensión del tiro es controlado por un generador con el torque requerido en el rollo bobinador. La tensión del papel no es detectada. La referencia total del torque es calculado concordando con la referencia de tensión, diámetro del rollo, inercia y las perdidas por compensación requeridas en esta configuración del lazo de velocidad es configurado por el límite de sobre velocidad del rollo bobinador y este no utiliza el control activo de tensión del tiro.

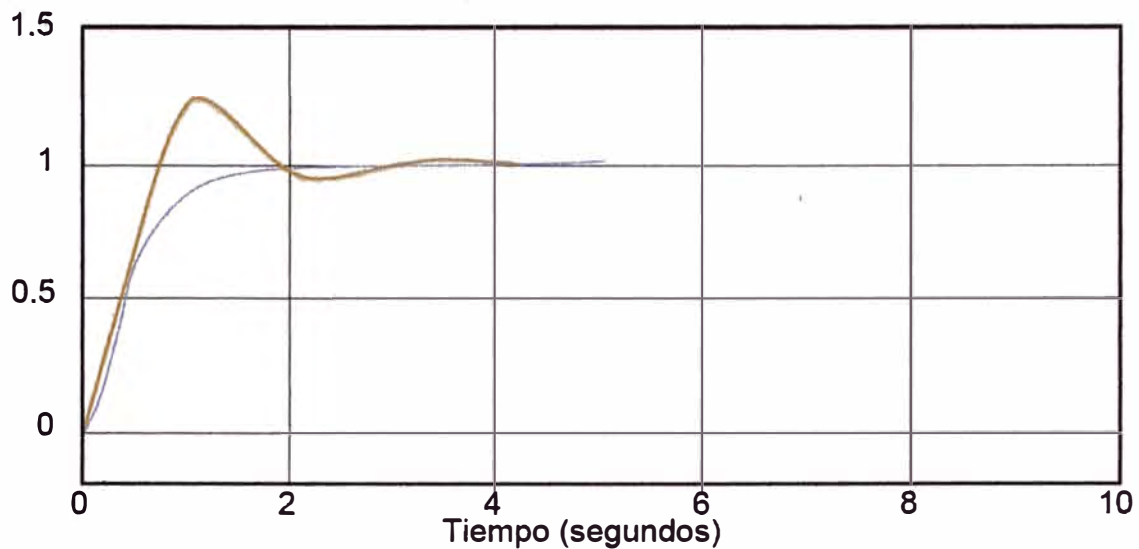
La respuesta de la tensión es dominante por un sistema de segundo orden con la frecuencia natural y el amortiguamiento descrito arriba. La tensión típica y carga de respuesta típicas son mostradas en la Figura 4.9. Notar que el sistema es inherentemente estable. Donde existe una frecuencia de disturbio y/o amortiguamiento natural del sistema pequeño, la performance para el control de tensión no es satisfactorio.



**Figura 4.8** Lazo abierto de bobinador con regulador de torque. Para simplificar el límite de sobre velocidad este no es mostrado.

### 4.3.2 Regulador de torque, bobinador con controlador de tensión

El esquema y el diagrama de bloques son mostradas en las Figura 4.10 y en la Fig. 4.11. En este esquema, una celda de carga es usada para medir la tensión del papel. La función de transferencia para el control de la planta posee las características para un sistema de segundo



**Figura 4.9** Respuesta de tensión típica para un bobinador con controlador de lazo abierto con torque de paso.

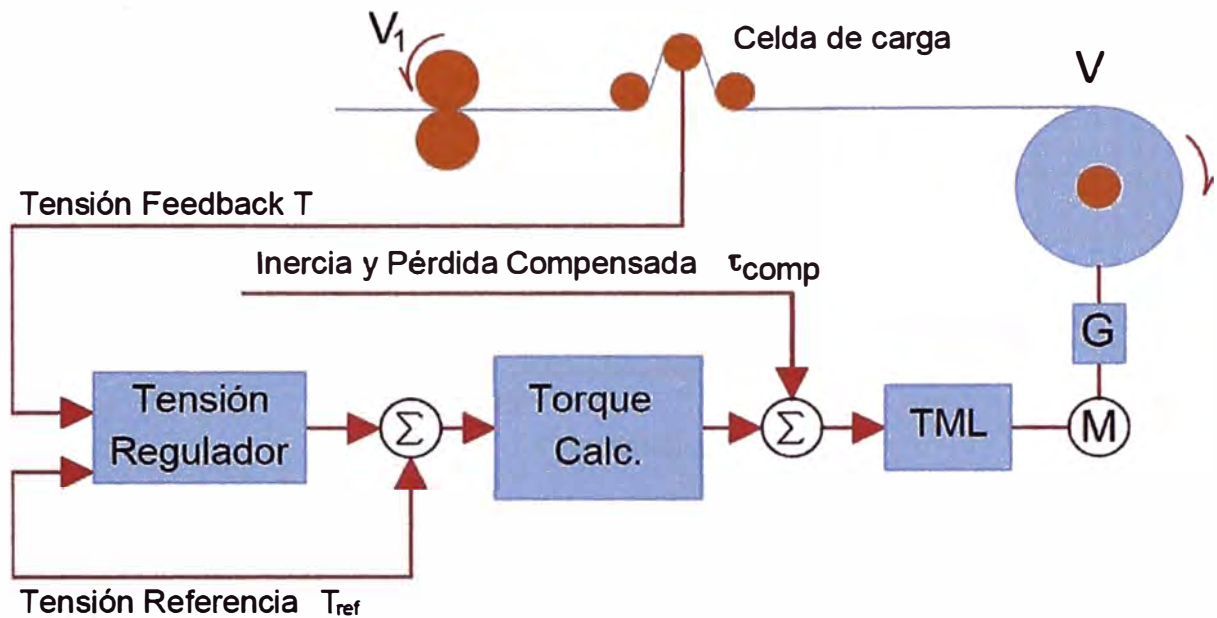
orden con la frecuencia natural y el amortiguamiento mostrados en la ecuación (4.6). La fuerza de control de la tensión puede designarse como un tipo PI o PID, dependiente sobre la frecuencia natural del sistema. Un controlador PI designado en el dominio de la frecuencia a través de resultados el diagrama de Bode, similar al primero en la Figura 4.12, con una suficiente ganancia y márgenes de fase.

Donde se usa un controlador PI, la frecuencia de cruce debe ser inferior a la frecuencia natural y por tanto la respuesta de la tensión es lenta cuando la frecuencia ha limitado la selección de la frecuencia de cruce. Cuando una rápida tensión de respuesta es requerida, un término derivativo necesita y debe ser agregado al controlador para proporcionar suficiente márgenes de fase.

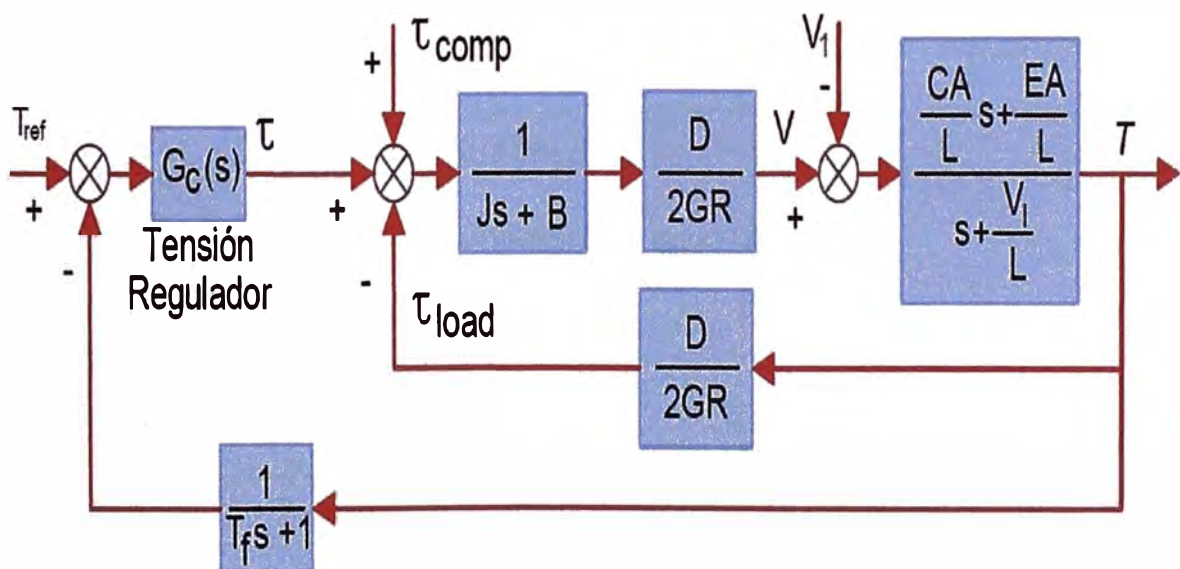
La Figura 4.13 Respuesta de tensión para un regulador de torque, bobinador con control de tensión para diferentes frecuencias naturales y controladores, muestra la tensión de respuesta con diferentes frecuencias naturales y controladores. Se puede observar que cuando  $\omega_p$  se hace más pequeño la planta se convierte en un par de polos dominantes y la tensión tiende a ser oscilatoria. Cuando el término derivativo es agregado al controlador, una larga mejora es realizada. Cuando se utiliza un término derivativo, existe la preocupación de que se introduzca ruidos en el sistema. Cuando se utiliza este término, el ruido debe ser efectuado dentro del nivel aceptable.

### 4.3.3 Regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión

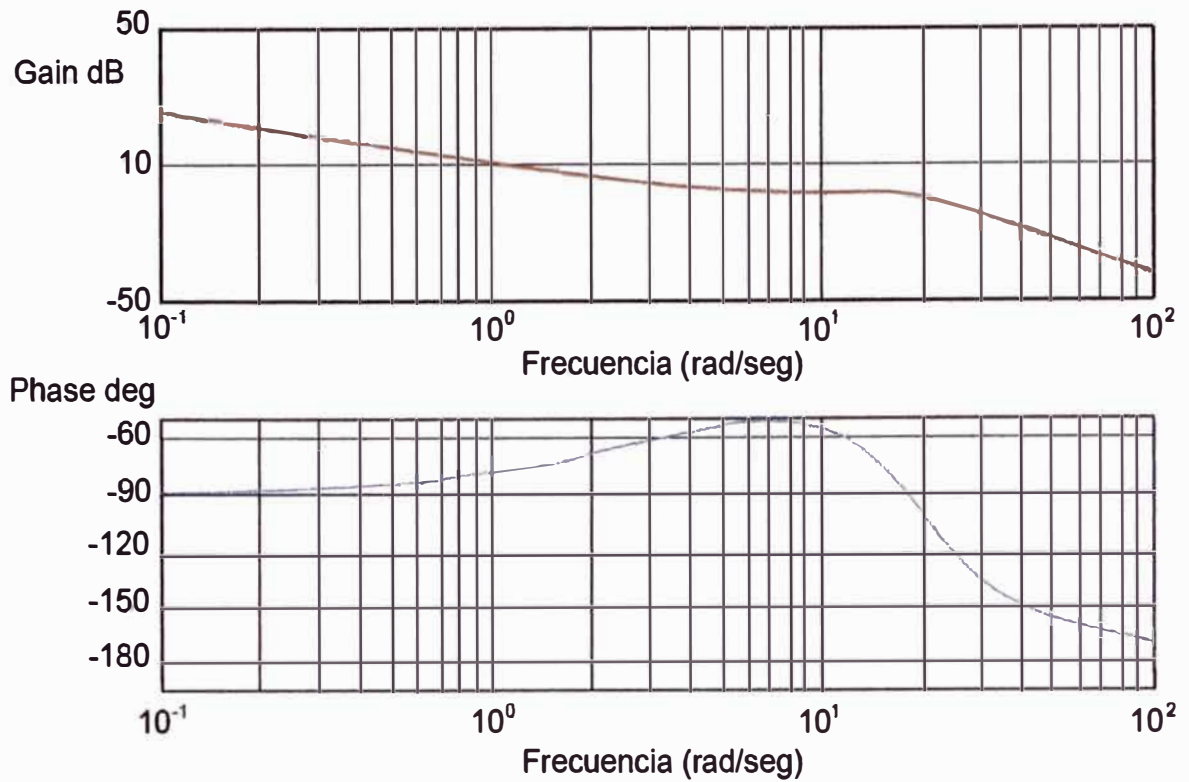
En este esquema se muestra en la Figura 4.14 el lazo de velocidad está en cascada con la tensión como se aprecia en el bucle inferior.



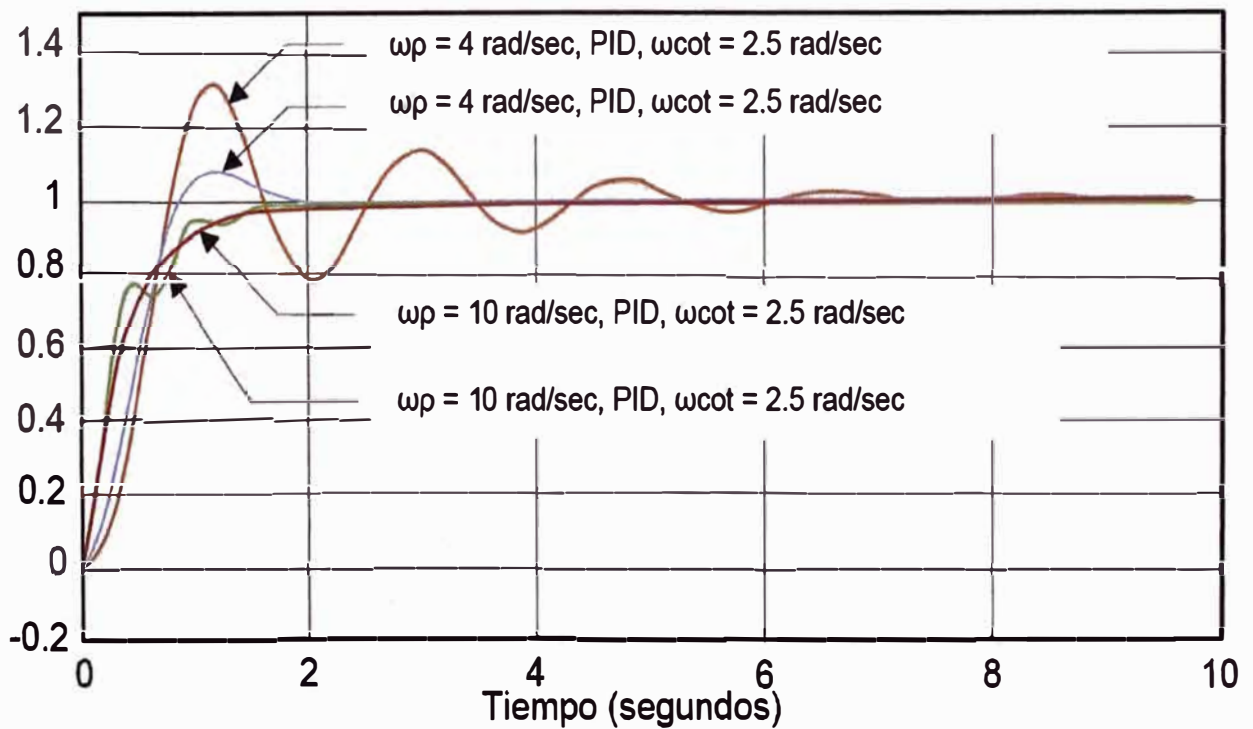
**Figura 4.10** Regulador de torque, bobinador con controlador de tensión. Para simplificar, el circuito de límite de sobre velocidad no es mostrado.



**Figura 4.11** Diagrama de bloques para un regulador de torque, bobinador con controlador de tensión. La tensión de alimentación con sentido directo es ignorada en el diagrama.



**Figura 4.12** La respuesta de frecuencia al lazo abierto para un bobinador regulador de torque con un controlador PI bien diseñado.



**Figura 4.13** Respuesta de tensión para un regulador de torque, bobinador con control de tensión para diferentes frecuencias naturales y controladores.

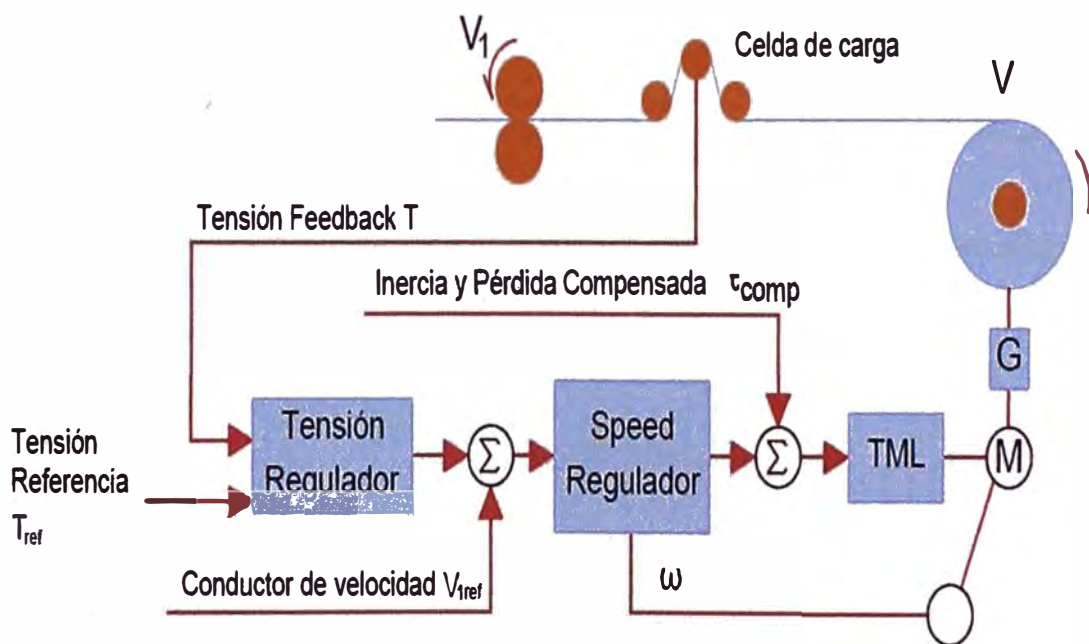
El diagrama de bloques se muestra en la Figura 4.15. La función de transferencia desde la referencia de velocidad para el rollo bobinador para la tensión de realimentación T es:

$$\frac{T}{V_{ref}} = \frac{\frac{EAK_i}{JL} \left( \frac{K_p}{K_i} s + 1 \right) \left( \frac{C}{E} s + 1 \right)}{s^3 + \left( 2\omega_p \zeta_p + \frac{K_p}{J} \right) s^2 + \left( \omega_p^2 + \frac{K_p V_1}{JL} + \frac{K_i}{J} \right) s + \frac{K_i V_1}{JL}} \quad (4.12)$$

El diagrama de bode de la planta esta mostrado en la Figura 4.16. La ventaja de adicionar un lazo de velocidad se ve cuando la velocidad conducida  $V_i = 0$ . La funcion de transferencia sera:

$$\frac{T}{V_{ref}} = \frac{\frac{EAK_i}{JL} \left( \frac{K_p}{K_i} s + 1 \right) \left( \frac{C}{E} s + 1 \right)}{s \left( s^2 + \left( 2\omega_p \zeta_p + \frac{K_p}{K} \right) s + \omega_p^2 + \frac{K_i}{J} \right)} \quad (4.13)$$

El par de polos dominantes ( $\omega_p$ ,  $\zeta_p$ ) en la planta desde el esquema para el regulador de torque tiene carga para una locacion en la planta desde el esquema del regulador de velocidad.



**Figura 4.14** Regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.

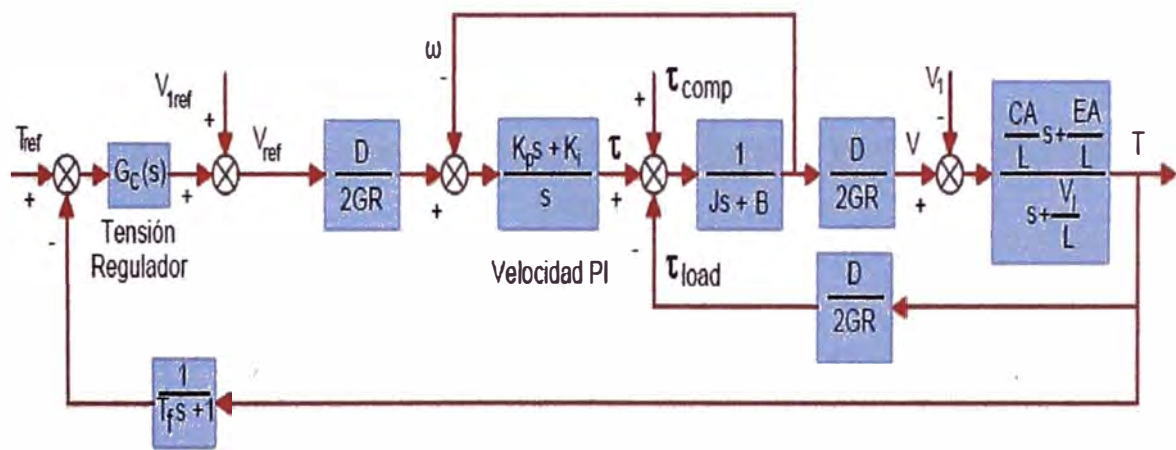
$$\left\{ \sqrt{\omega_p^2 + \frac{K_i}{J}}, \frac{1}{\sqrt{\omega_p^2 + \frac{K_i}{J}}} \left( 2\omega_p \zeta_p + \frac{K_p}{J} \right) \right\} \quad (4.14)$$

Con sintonización correcta de las ganancias  $K_p$  y  $K_i$  del controlador, la transferencia del sistema falla y la amortiguación se puede mejorar y por tanto la mejor tensión de respuesta puede alcanzar el objetivo como se muestra en la Figura 4.17.

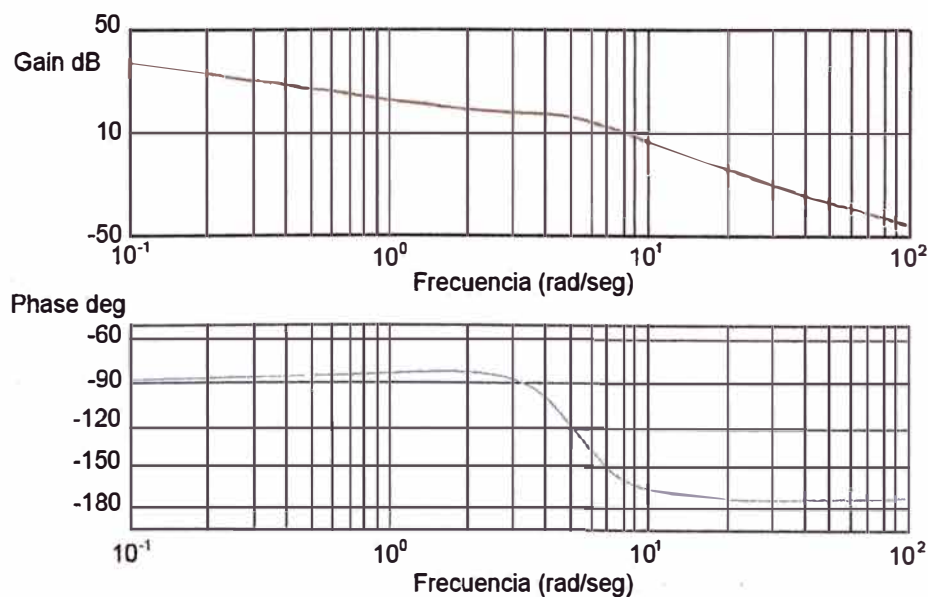
#### 4.3.4 Regulador de torque, bobinador con controlador de posición

El regulador de torque, con controlador por rodillo danzarín se muestra en la Figura 4.18. Los diagramas de bloque con el modelo completo del rollo danzarín y el modelo simplificado integral se muestran en las figuras 4.19 y 4.20 respectivamente. La función de transferencia simplificada a partir del torque para la posición del rollo danzarín se puede obtener como:

$$\frac{d}{\tau} = \frac{D}{4GR \cdot J} \cdot \frac{1}{s \left( s + \frac{B}{J} \right)} \quad (4.15)$$

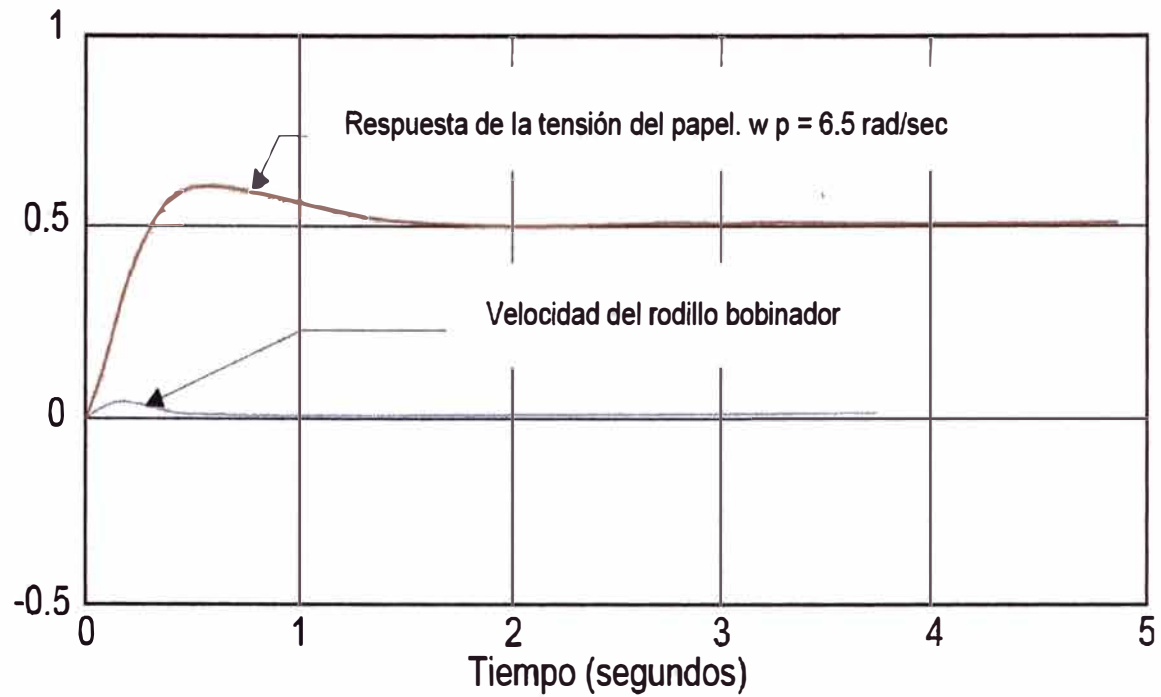


**Figura 4.15** Diagrama de bloques para un regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.

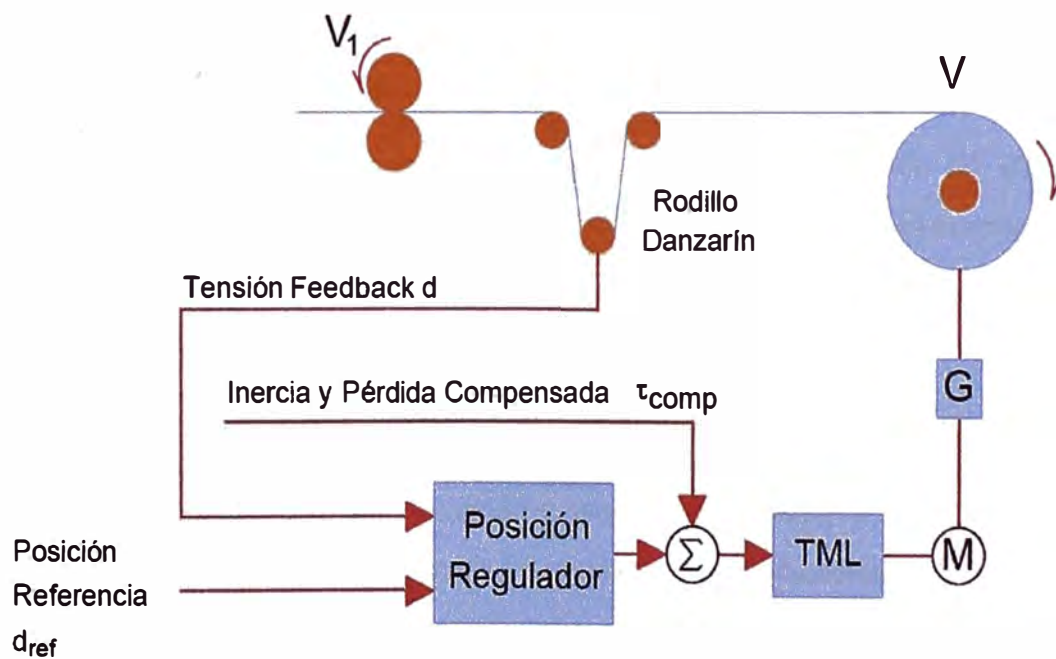


**Figura 4.16** Diagrama de bode para la planta en el regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.

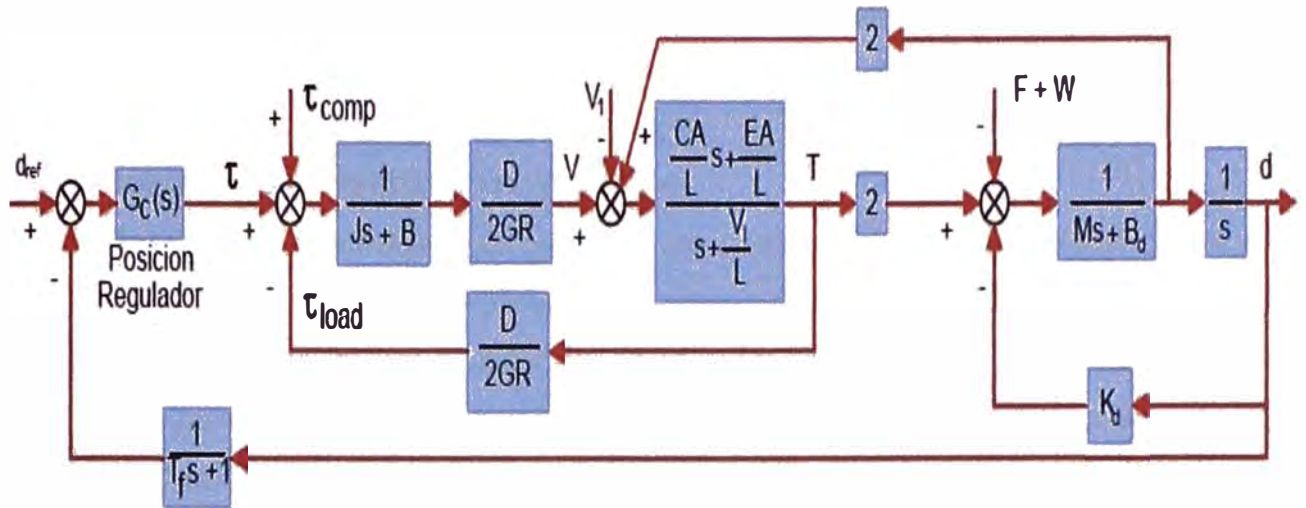




**Figura 4.17** Respuesta de tensión para regulador de velocidad, bobinador con controlador de tensión.



**Figura 4.18** Regulador de torque, bobinador con controlador de posición. Para simplificar el límite de sobre velocidad del circuito no es mostrado.



**Figura 4.19** Diagrama de bloque para regulador de torque, bobinador con controlador de posicion.

En la Funcion de Transferencia del controlador incluye un polo ubicado en  $s = -B/J$ . En la mayoría de los sistemas,  $B$  es muy pequeña comparada con  $J$  por lo tanto la ubicación del polo esta cerca al origen para los niveles  $S$  y la planta correspondiente, como una integral doble. Esta produce una dificultad para el controlador de tipo PI y un término derivativo para un compensador plano (nivel) se necesita agregar en el controlador.

Para un bobinador con rollo danzarin el sistema presenta una funcion de transferencia expresada en la ecuacion (4.11), un controlador PI no es estable como es un control PID, debe ser una respuesta bien aceptada ver la Figura 4.21.

#### 4.3.5 Regulador de velocidad, bobinador con controlador de posición

La configuración del controlador se representa en la Figura 4.22, este diagrama de bloques dinámico se visualiza en la Figura 4.23 cuando se usa el modelo integral para el rollo danzarin. La funcion de transferencia para la velocidad, la posicion se puede determinar como se indica a continuacion:

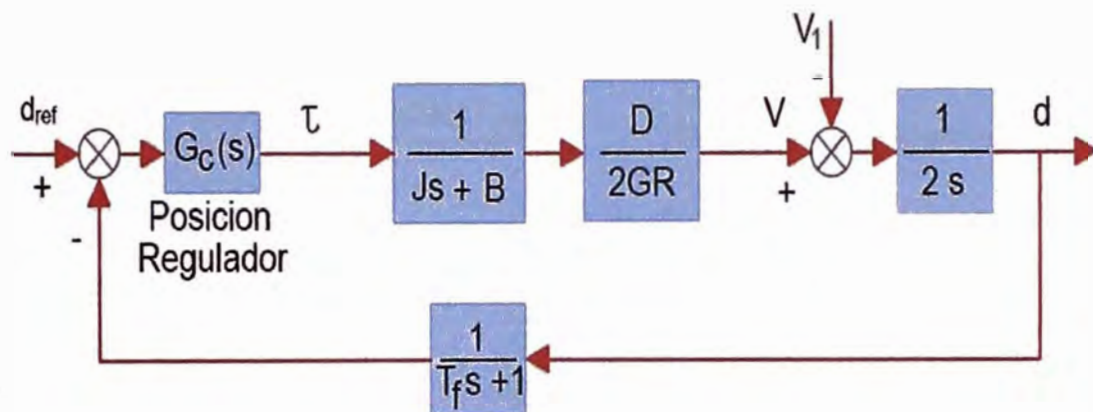
$$\frac{d}{V_{ref}} = \frac{\frac{K_p}{J}s + \frac{K_i}{J}}{2s \left( s^2 + \left( \frac{K_p}{J} + \frac{B}{J} \right) s + \frac{K_i}{J} \right)} \quad (4.16)$$

Esto se observa, con la ganancia, con el razonable ancho de banda largo y el suficiente amortiguamiento para el lazo de velocidad, el par de polos en la ecuacion (4.16) se traslada a

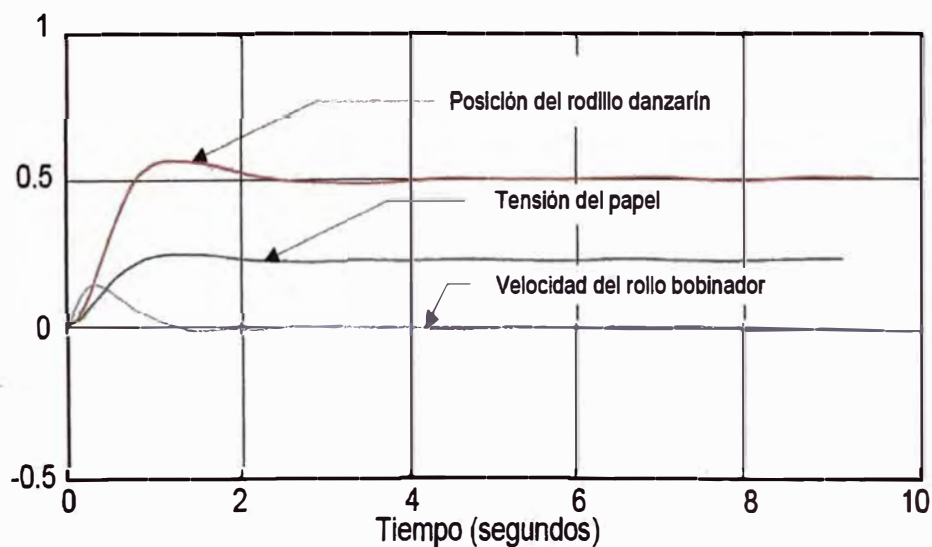
una ubicación lejana respecto del eje imaginario y por lo tanto el controlador de la planta tendrá el comportamiento de una integral de posición, como se ilustra en la Figura 4.24.

#### 4.4 Comparaciones y análisis de los resultados

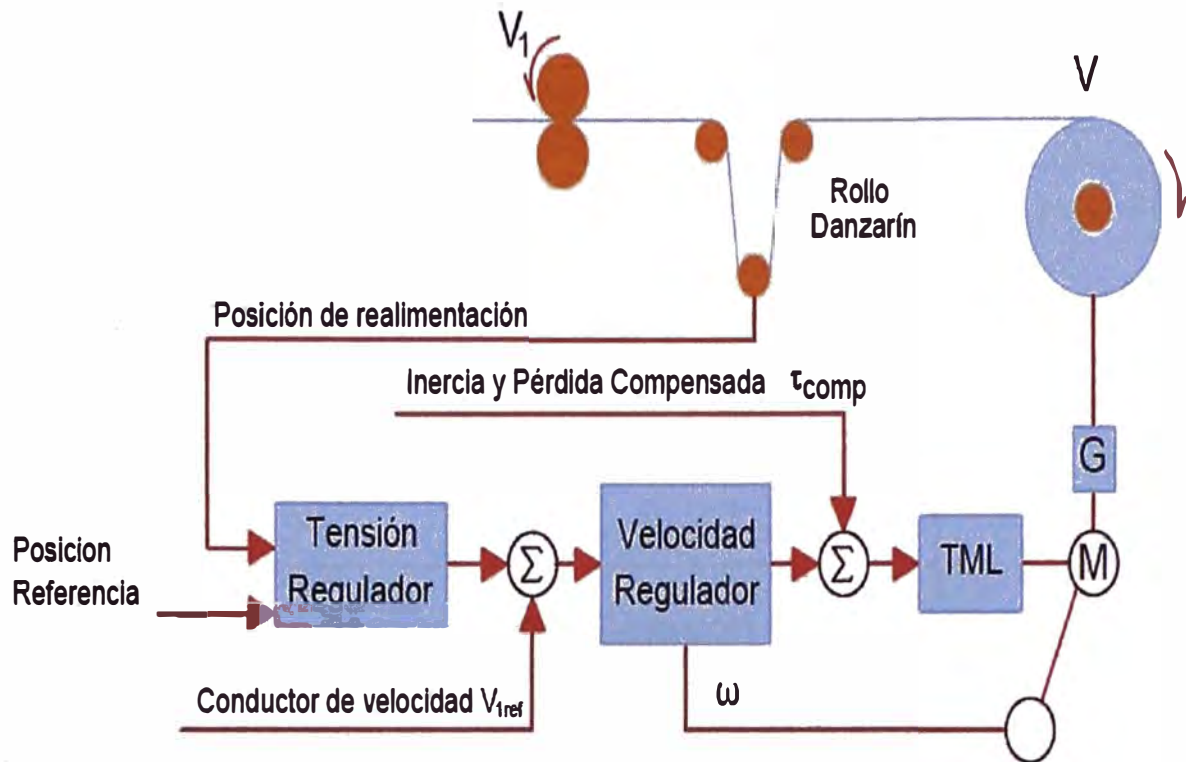
Del análisis anterior se determina que la frecuencia natural y la amortiguación son parámetros críticos de la planta. Los controles para el bobinador, con torque regulado son dominados por un par de polos con la frecuencia natural y amortiguamiento del sistema, cuando el sistema tiene una pequeña frecuencia natural y/o un pequeño amortiguamiento, el controlador de fuerza PI no es satisfactorio y un término derivativo o un compensador plano necesitan ser aplicado.



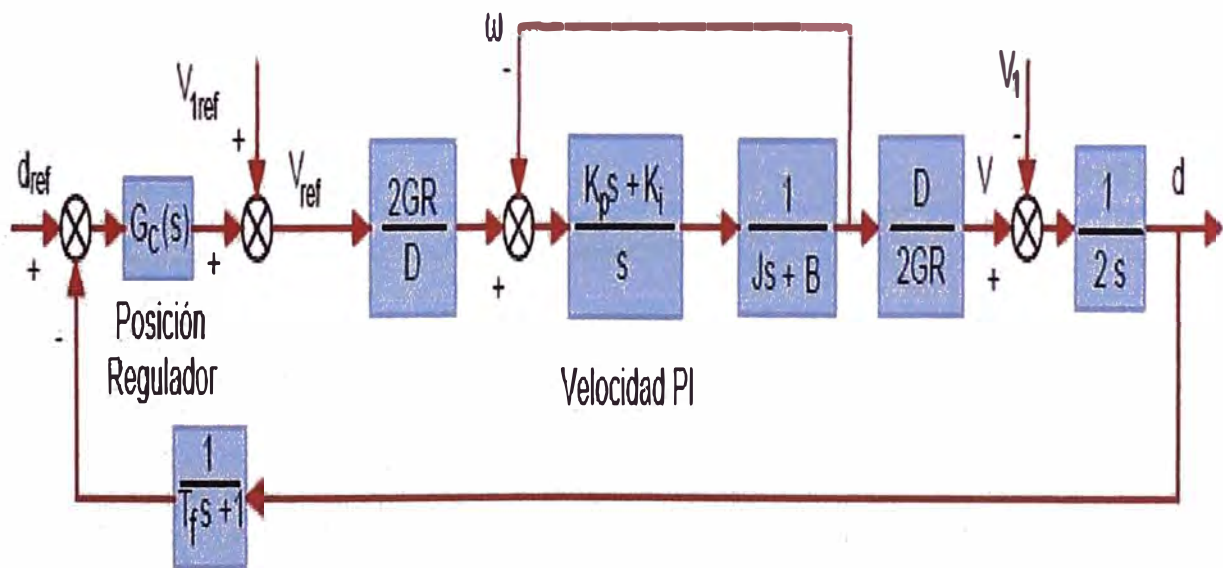
**Figura 4.20** Diagrama de bloques simplificado para regulador de torque, bobinador con controlador de posición.



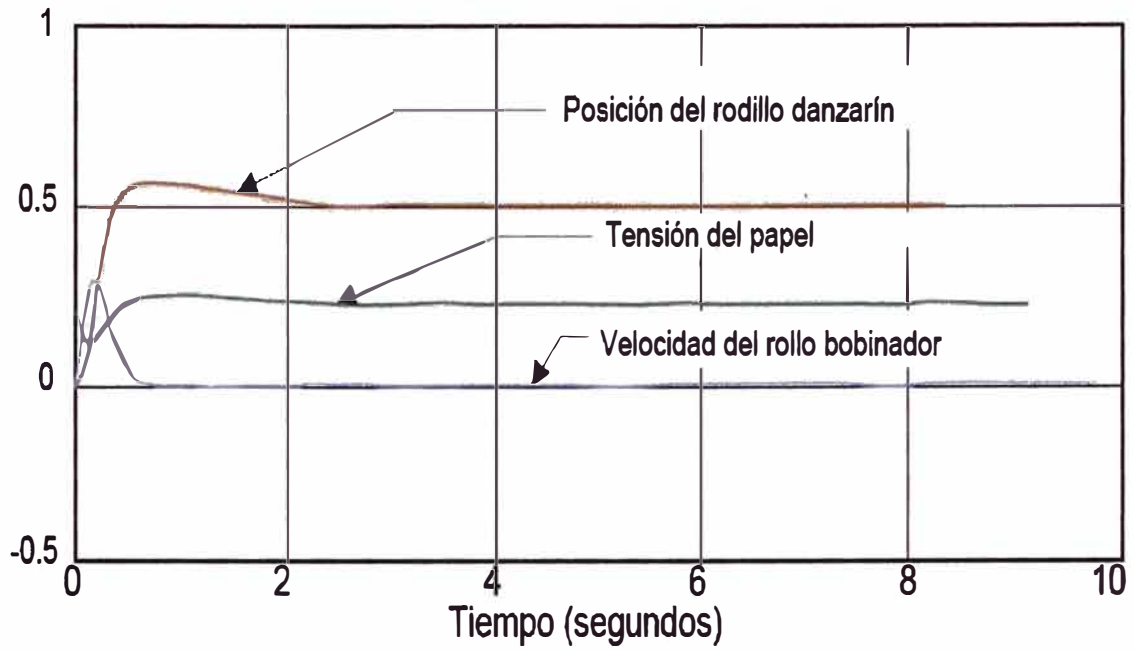
**Figura 4.21** Respuesta de posición y tensión de un regulador de torque, bobinador con controlador de posición con controlador.



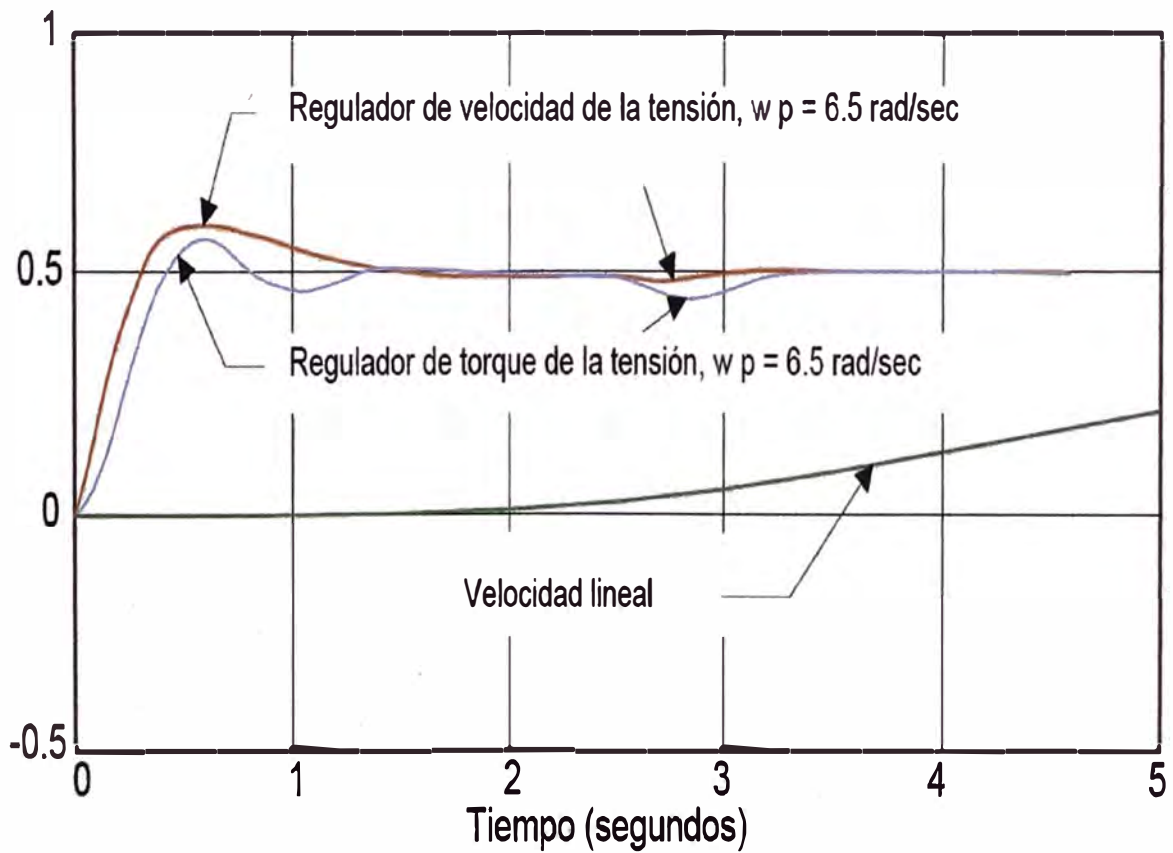
**Figura 4.22** Regulador de velocidad, bobinador con controlador de posición.



**Figura 4.23** Diagrama de bloque para regulador de velocidad bobinador con controlador de posición.



**Figura 4.24** Respuesta para posición y tensión de un regulador de velocidad bobinador con controlador de posición.



**Figura 4.25** Comparación de respuesta de tensión para regulador de torque y bobinador con regulador de velocidad para cambios de la velocidad lineal.

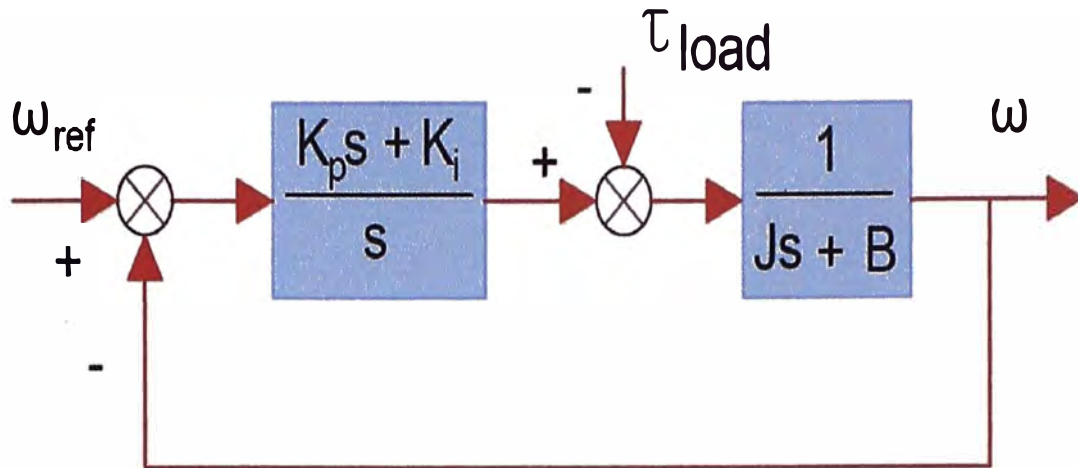


Figura 4.26 Diagrama simplificado de un lazo de velocidad.

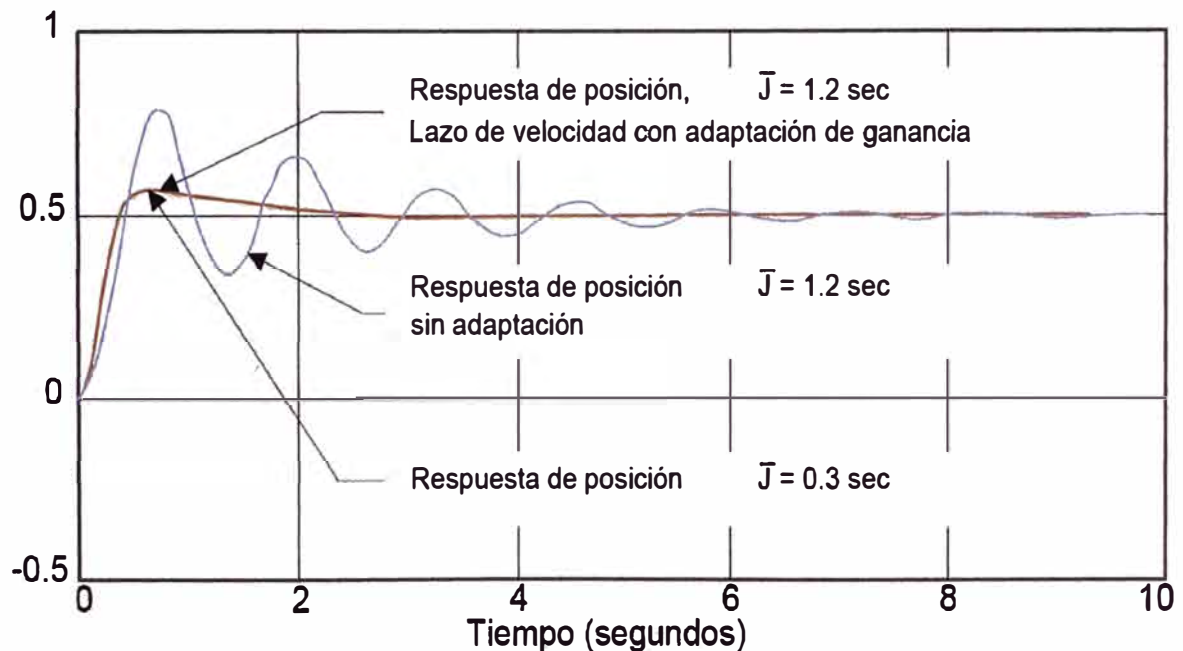


Figura 4.27 Comparación de respuesta de posición para regulador de velocidad, bobinador con controlador de posición y lazo de velocidad con adaptación de ganancia.

El lazo en el control de velocidad en cascada se diseña con un ancho de banda suficientemente largo, con un regulador de torque de la tensión o posición para que el lazo aumentara el valor de la frecuencia natural, mejorar el amortiguamiento y por lo tanto habilita el diseño con sistemas de control de bobinador con respuestas rápidas. La introducción para un lazo de velocidad desea también admitir las características de rápidos seguimientos de velocidad. Ver la Figura 4.25 para ilustrarse con resultados en lo que es posible alcanzar una compensación de la inercia esto no es aplicado para los propósitos en comparación.

Esto se ve a través de las respuestas del escalón de tensión para el bobinador con regulador de velocidad tiene excesos largos (pasar de la raya), es que el uso de los bobinadores con regulador de torque, la caída de la tensión debido a la aceleración lineal es muchas veces casi menor que uno de los bobinadores con regulador de torque.

En la práctica, un lazo de velocidad con designaciones basadas sobre los sistemas de inercia con red acoplada se visualiza en la Figura 4.26, para el diagrama del lazo de velocidad ignorar la fricción ( $B = 0$ ), entonces la función de transferencia para el lazo cerrado es:

$$\frac{\omega}{\omega_{ref}} = \frac{\frac{K_i}{J} \left( \frac{K_p}{K_i} s + 1 \right)}{s^2 + \frac{K_p}{J} + \frac{K_i}{J}} \quad (4.17)$$

Comparando con un sistema de segundo orden, la frecuencia natural y amortiguamiento para el lazo de velocidad se obtiene como:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_i}{J}}, \quad \zeta_n = \frac{1}{2\omega_n} \frac{K_p}{J} \quad (4.18)$$

Esto se ve con la frecuencia natural y el amortiguamiento están relacionados por la inercia del sistema o cuando el regulador de velocidad PI es sintonizado con el centro del rollo, por ejemplo, cuando la frecuencia natural y el amortiguamiento decrecerán cuando el diámetro del rollo y la inercia incrementan. El ancho de banda y el amortiguamiento para el lazo de velocidad debería mantenerse cuando la inercia del sistema es cambiada.

El ancho de banda es usualmente especificado como  $\omega_{co} = K_p / J$  (9). Para esto la ganancia del regulador de velocidad PI se puede adaptar con el cambio de la inercia debido a los límites físicos en una maquina o consideraciones de estabilidad (por lo tanto los límites de la ganancia PI), sin embargo el ancho de banda deseado puede no ser siempre alcanzable. Si la ganancia limite PI es alcanzada y la inercia del sistema esta aun en aumento donde la adaptación de lazo de velocidad puede no ser aplicado más. Por lo tanto el actual ancho de banda para el lazo de velocidad puede ser voluntariamente decreciente.

El lazo de velocidad deteriorado voluntariamente con el efecto negativamente al mayor lazo y por lo tanto no hay ventaja para sumar la velocidad interior del lazo, en esta situación la Figura 4.27 visualiza la comparación para la respuesta con y sin la adaptación.

Sin la adaptación, el sistema tiende a ser inestable cuando el bobinador incrementa su inercia a un rango certero.

La comparación de las estrategias es resumida en la tabla N° 4.1.

**TABLA N°4.1** Resumen de los esquemas de control de bobinadora

<b>Esquema</b>	<b>Controlador de la planta</b>	<b>Performance de control</b>	<b>Aplicacion</b>
Un lazo abierto de torque	Eq. (6) del sistema de 2do orden	Inherentemente estable Baja performance de control	La tensión no es detectada  Alta tensión por solamente pérdida de radio
Regulador de torque Controlador de tension	Eq. (6) del sistema de 3er orden	Respuesta rapida de tension es factible con PI. Baja respuesta de carga.	El sistema bobinador con una inercia larga.
Regulador de velocidad. Controlador de tension.	Eq. (12) del sistema de 3er orden.	Control con performance alta. Rapida respuesta de tension y velocidad. Alta respuesta a la carga. Lazo de velocidad, el ancho de banda es limitado por la inercia del sistema.	Los sistema bobinadores con un factible ancho de banda para el lazo de velocidad.
Regulador de torque. Controlador de posicion.	Eq. (15) Simplificada del sistema de 2do o más elevado orden.	Rapida respuesta de posicion es factible con controlador PID. Baja respuesta de carga.	Los sistemas bobinadores con larga inercia.
Regulador de velocidad. Controlador de posicion.	Eq. (16) del sistema de 3er o mayor orden.	Alta performnce de control. Rapida respuesta de posicion y tension.  El ancho de banda del lazo de velocidad es limitado por la inercia del sistema.	Los sistemas bobinadores con un factible ancho de banda para el lazo de velocidad.



**Los parámetros del sistema de control son:**

- A: Área de la sección transversal del papel [ $\text{mm}^2$ ].
- B: Coeficiente de fricción con el tren de accionamiento [ $\text{Nm} / \text{rad}/\text{sec}$ ].
- C: Sintonización del módulo del papel [ $\text{kPa} - \text{sec}$ ].
- D: Diámetro instantáneo del rollo bobinador [m].
- Dc: Diámetro eje del rollo bobinador [m].
- E: Módulo Youn's para elasticidad del papel [ $\text{kPa}$ ].
- F: Fuerza aplicada a través de carga en el rollo danzarín [N].
- Gr Danzarín de la caja de cambios.
- J Fuerza total del sistema reflejada en el motor [ $\text{kg m}^2$ ].
- $\bar{j}$  Fuerza total normalizada del sistema reflejado en el motor [sec].
- $K_d$  Constante del resorte del sistema del rodillo danzarín [ $\text{N}/\text{m}$ ].
- $K_i$  Ganancia integral del lazo de velocidad.
- $K_p$  Ganancia proporcional del lazo de velocidad.
- L Longitud decente entre el nivel y el rollo bobinador [m].
- $L_1$  Longitud entre el papel y la tensión  $\epsilon_0$  [m].
- $L_s$  Longitud del máximo almacenamiento [m].
- $L_u$  Longitud del papel con L y  $\epsilon$  [m].
- M Masa del rollo danzarín [kg].
- T Tensión entre el papel y el plano de los rollos bobinadores [N].
- $T_1$  La tensión del papel en los rollos plenos [n].
- TML Menor torque del lazo.
- V Velocidad del papel en el rollo bobinador [m/sec].
- $V_1$  Velocidad del papel en los rollos niveladores [m/sec].

$W$	La fuerza debido al rollo danzarín [N].
$\varepsilon$	Debido al papel entre el nivel y los rollos bobinadores.
$\varepsilon_1$	Debido para el papel entre los rollos de nivel.
$\zeta_p$	Amortiguamiento natural para el sistema rollo bobinador.
$\rho$	Densidad para el material del papel [ $\text{kg/m}^3$ ].
$\sigma$	La tensión del papel entre el rollo conductor y el rollo bobinador.
$\tau$	Torque generador por el motor [N m].
$\tau_{\text{comp}}$	Inercia y comprensión del torque [N m].
$\tau_{\text{loss}}$	Perdida de torque, simplificado con: $\tau_{\text{loss}}=B\omega$ [N m].
$\omega$	Velocidad motor[rad/sec].
$\omega_{\text{cot}}$	Frecuencia par motor o lazo de tensión [rad/sec].
$\omega_p$	Frecuencia natural y del sistema rollo bobinador [rad/sec].
$\omega_{p\text{min}}$	Frecuencia minima natural para el sistema bobinador [rad/sec].

## **CÁPITULO V**

### **SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL**

#### **5.1 Controlador discreto de goma [5]**

Controlar la cantidad de goma en el papel a cualquier velocidad del proceso.

##### **5.1.1 Funciones del control proporcional del fluido de goma con controlador EPC-12P**

El controlador EPC-12P tiene las siguientes funciones:

- Control proporcional de flujo, cambia la salida de un regulador de presión de fluidos en función de la velocidad de la máquina principal. El sistema controla los reguladores de flujo de cola fría neumáticos para obtener una aplicación uniforme a cualquier velocidad de la máquina.
- Activación de válvulas de cola, puede activar la cola por medio de una electroválvula de 3 vías a 24V, puede asimismo enviar la señal de activación a otro controlador cuando más una válvula tiene que ser activada (máx. 8,5W). Dispone de un ajuste de la velocidad mínima de encolado por debajo de la cual se cierra la salida a la electroválvula de dosificación.
- Activación de válvula de alivio (opcional), activa una electroválvula de 3 vías externa para activar una válvula de alivio del circuito del fluido.
- Control de ruptura de la banda (opcional). Para aplicaciones de cola en continuo, una fotocélula puede controlar la banda y en caso de ruptura parar la aplicación de cola.

##### **5.1.2 Descripción del control proporcional de fluido EPC-12P**

El controlador recibe impulsos de un encoder activado por la máquina. La frecuencia de los impulsos viene convertida en un Voltaje.

En el controlador hay un distribuidor de aire con un presostato.

Las tarjetas electrónicas de control comparan los voltajes del presostato y de los impulsos del encoder. Por medio de dos electroválvulas se sube o se baja la presión del distribuidor de aire

hasta que se iguale al correspondiente valor en voltios de los impulsos recibidos del encoder. En sistemas de dosificación de cola fría, la presión de aire se manda a un regulador de presión proporcional de adhesivo que regulará el caudal de cola en función de la misma presión de aire recibida desde el Controlador.

El sistema de control EPC 12P se emplea para variar la presión de entrada de la bomba de pistón de la misma unidad de goma (cola) para accionar las válvulas de alivio para subir o bajar la presión del adhesivo en función de la velocidad de la máquina.

### **5.1.3 Componentes internos**

En esta sección se describen las Funciones básicas del Control proporcional de fluido EPC-12P, se adjuntan en el Anexo C, las Láminas N° 5.1, N° 5.2 y N° 5.3.

#### **a) Interfaz regulador**

Se adjunta en el Anexo C, la Lámina N° 5.4.

#### **b) Seccion de codificacion**

Existen dos tipos de conjuntos Encoder:

- Conjunto encoder con rueda
- Conjunto encoder con polea partida y piñón

Se adjunta en el Anexo C, la Lámina N° 5.5.

#### **c) Conexiones**

Se adjunta en el Anexo C, la Lámina N° 5.6.

#### **d) Ajustes iniciales**

- **Ajuste de duración del impulso**

Este ajuste cambia con la duración de los impulsos recibidos del encoder para conseguir una señal de salida más o menos fuerte. Es un ajuste grueso y nos permite ajustar el máximo caudal de adhesivo deseado a la velocidad máxima de la máquina (o a la velocidad a la cual deseamos el máximo caudal de adhesivo).

Para ajustar la duración del impulso seguir los siguientes pasos:

- ❖ Posicionar el potenciómetro del caudal de adhesivo del panel frontal en posición vertical (12 horas).

- ❖ Girar el potenciómetro “Volts” (Anexo C, Lámina N° 5.7 ) completamente hacia la izquierda hasta que se oiga un “clic”.
- ❖ Girar ahora 15 vueltas hacia la derecha el potenciómetro “Volts”, el ajuste está en este momento en el medio.
- ❖ Girar el potenciómetro de la duración del impulso todo hacia la izquierda hasta que se oiga un “clic”. (Esto equivale a mover la línea “A”, en Anexo C, de Lámina N° 5.7 de las rectas, todo hacia la derecha).
- ❖ Ponga la máquina en marcha a la velocidad máxima (o a la velocidad a la cual se desee el máximo caudal de adhesivo).
- ❖ Gire el potenciómetro de duración de impulso hacia la derecha hasta que el caudal de adhesivo sea al máximo deseado.

Se adjunta en el Anexo C, Lámina N° 5.7.

➤ **Ajuste de ganancia**

El ajuste de la ganancia (Volts) se usa para sincronizar el máximo caudal de adhesivo a la máxima velocidad de la maquina mostrado como línea “B” ver en Anexo C Lámina N° 5.8. Si el ajuste del caudal llega al máximo antes que la maquina llegue a su velocidad máxima, la cantidad de cola no se incrementara para velocidades superiores (mostrado como línea “+B”). Si la maquina alcanza la velocidad máxima antes de que la cantidad de cola llegue a su ajuste máximo, el caudal será limitado en todo el rango de velocidades de la maquina (mostrado como línea “-B”).

Para ajustar la ganancia (Volts), seguir los siguientes pasos:

- ❖ Posicionar el potenciómetro del caudal de adhesivo del panel frontal en posición vertical (12 horas).
- ❖ Gire el potenciómetro Volts hacia la derecha para incrementar el caudal de adhesivo.
- ❖ Gire el potenciómetro Volts hacia la izquierda para disminuir el caudal de adhesivo.

Se adjunta en Anexo C, Lámina N° 5.8.

### ➤ **Ajuste de velocidad mínima**

El ajuste de la velocidad mínima sube o baja el umbral de la velocidad mínima de encolado. Girando el potenciómetro hacia la derecha subirá la velocidad mínima de encolado, girarlo hacia la izquierda bajara la misma, de acuerdo al Anexo C, Lámina N° 5.8.

El piloto en el panel frontal del EPC-12P se ilumina cuando la máquina está por encima de la velocidad mínima de encolado.

### ➤ **Calibración del presostato**

La calibración se usa para sincronizar un determinado presostato para un determinado sistema. El controlador EPC-12P ya está calibrado de fábrica. Si se reemplaza el presostato seguir el procedimiento siguiente:

- ❖ Parar la máquina.
- ❖ Desconectar el suministro de aire.
- ❖ Encender el EPC-12P
- ❖ Espere dos minutos hasta que el amplificador del presostato se estabilice.
- ❖ Si el led de incremento de la presión esta encendido, gire el potenciómetro del ajuste del Cero hacia la derecha hasta que se apague el led. Siga girando el potenciómetro del ajuste del cero hasta que el led de decremento de la presión se encienda. A este punto girar hacia la izquierda el potenciómetro del ajuste del Cero hasta una posición intermedia (aproximadamente media vuelta).
- ❖ Si el led de decremento de la presión esta encendido, gire el potenciómetro del ajuste del cero hacia la izquierda hasta que se apague el led. Siga girando el potenciómetro del ajuste del Cero hasta que el led de incremento de la presión se encienda. A este punto girar hacia la derecha el potenciómetro del ajuste del Cero hasta una posición intermedia (aproximadamente media vuelta).

Se adjunta en el Anexo C, Lámina N° 5.9.

## 5.2 Control automático de goma

Para el control de goma automático se describe y define lo siguiente:

### **Descripción para el sistema de encolado con controlador MCP-4 [6]**

La Unidad de Control MCP-4 de Valco ofrece a los operadores una solución más accesible e integrada para el control de patrones del sistema adhesivo. El control presenta una operación de 4 canales, patrones de encolado múltiples y una función de control de flujo opcional. La unidad contempla cambios y ajustes del programa, de manera que pueda obtener los resultados deseados de manera inmediata. El control tiene un diseño compacto y presenta conectores de acoples rápidos para un fácil instalación e inicio rápido.

La Unidad de Control MCP-4 funciona con una serie de válvulas dispensadoras de adhesivo para encolado en frío y fusión en caliente de Valco. Las capacidades del controlador incluyen:

- Sistema adecuado para conversión a alta velocidad.
- Producción de cajas de cartón plegadas.
- Fabricación de embalajes.
- Carpetas de papel.
- Producción de libros y revistas.
- Fabricación de bolsas.
- Fabricación de cajas de cartón corrugado.
- Válvulas múltiples, patrones de encolado complejos.
- 4 canales, 10 patrones programables por canal.
- Patrones continuos, puntuados y de encolado automático.
- Gran memoria de almacenamiento de 100 trabajos.
- Opción de control de flujo EPC.
- Modo temporizador o con encoder (codificador).
- Opción de detección de rotura de banda.

- En cumplimiento con CE.

### **Sistema de control de goma MCP- 4F, Layout del sistema de goma**

Este sistema de control de goma con microprocesador programable para gomero se aplica en papel y cartón.

El controlador es un sistema de diseño de control de goma con todas las funciones. Fácil configuración y programación con características simples para la configuración y operación de la máquina.

El controlador incluye las siguientes características:

- Montaje vertical.
- Válvula múltiple, capacidades de patrones complejas de pegamento.
- Función de aplicación automática de goma, capacidad de patrones complejos de pegamento cada vez en su aplicación.
- Engomado continua y punteada con los patrones de capacidades.
- Ajuste de la velocidad lineal.
- Presión integral de goma para el control de salida.
- Calibración en pulgadas y en milímetros.
- *Encoder* básico.
- Detección opcional del freno del papel
- Contador de producción / proceso continuo.
- Conectores de conexión rápida y diseños compuestos para rápida y fácil instalación.
- Almacenamientos de órdenes de trabajo.
- Cuatro canales de operación y ocho modelos programables por canal.
- *Display* gráfico largo LCD.
- Panel indicador frontal para monitorear las funciones.



- *Password* de protección de sistema con parámetros en las teclas.
- Válvula seleccionable de salida para mantener alta performance con válvulas eléctricas.

El *Layout* del sistema de goma con Controlador Automático MCP – 4F se adjunta en el Anexo C, Lamina N° 5.10.

### **Características básicas**

La Unidad de Control se energiza con alimentación eléctrica de 24 VCC y 115/230 VCA con mando de válvula. Esta unidad se monta verticalmente.

El panel del operador se describe y se adjunta en la Figura 5.1 y Figura 5.2.

El control viene con cableado en campo (se visualiza en la Figura 5.3), el conexionado se describe en la Figura 5.5.



**Figura 5.1** Vista frontal del Controlador MPC-4.

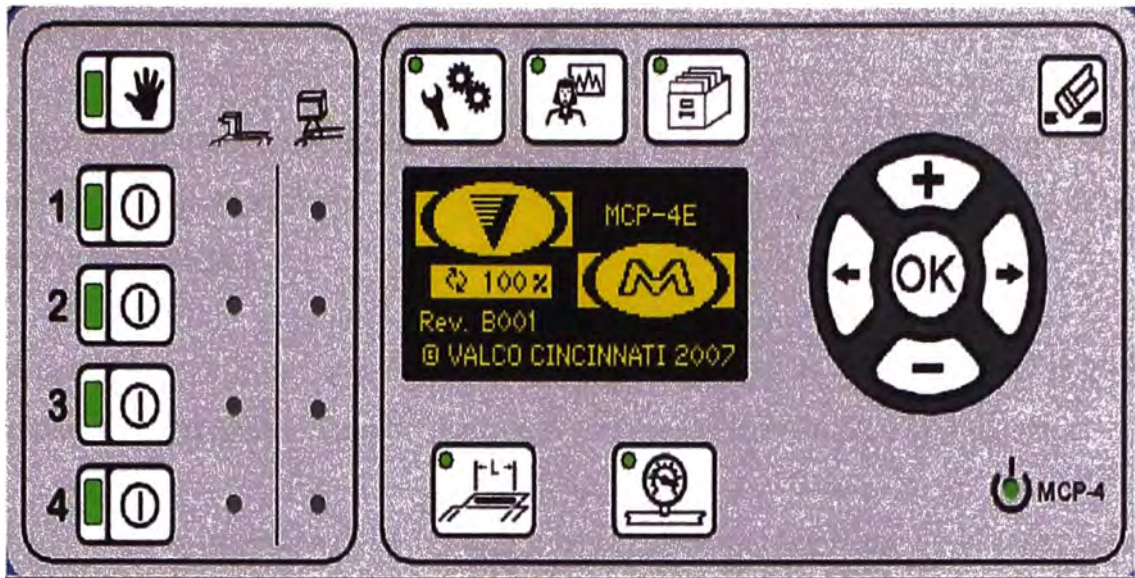


Figura 5.2 Panel del Operador de la Unidad MCP-4.

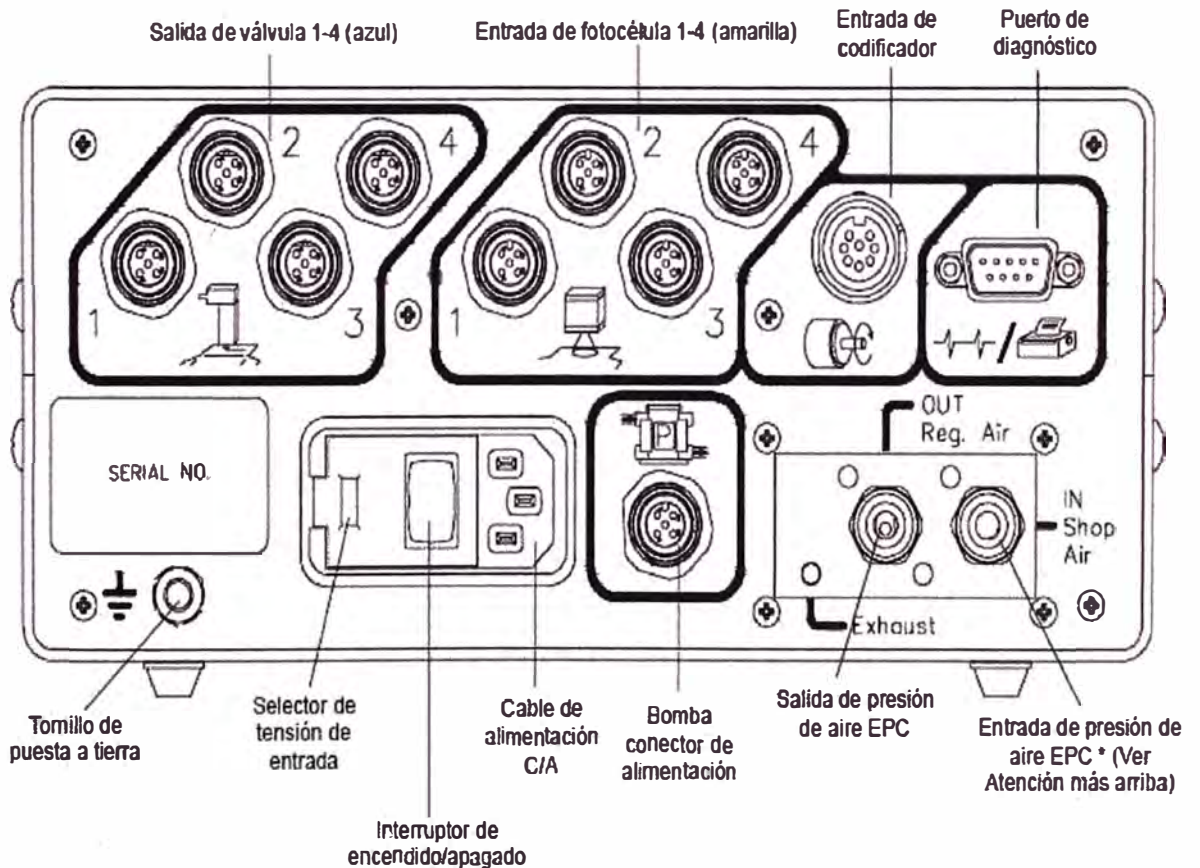


Figura 5.3 Panel posterior de la unidad MCP-4.

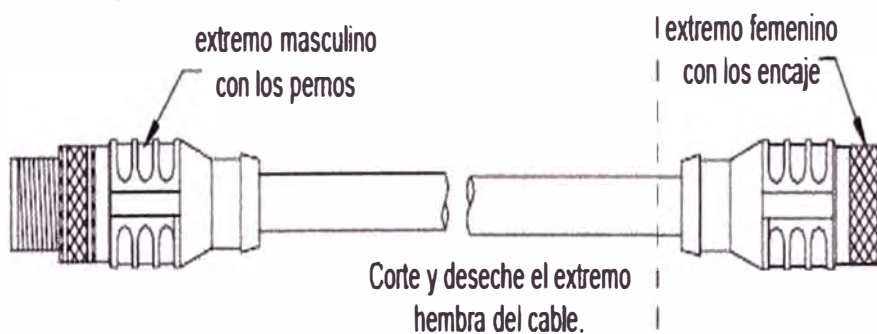
## Instrucciones para el mando de las válvulas MCP - 4

Existen tres opciones de configuración para activar las válvulas. Elija la que mejor se adapta a las necesidades de su sistema. En la sección siguiente se incluyen instrucciones detalladas para cada configuración.

Se debe configurar el dispositivo de activación usado para que su salida sea sólo de 24 VCC. Si la unidad de control tiene un pico, dañará el circuito de entrada para la fotocélula.

Desconecte todo el cableado de la energía y la señal de entrada antes de intentar instalar o cambiar las piezas del sistema de encolado. De lo contrario se pueden ocasionar lesiones personales o la muerte

- Compruebe que el interruptor de energía de la unidad MCP-4 esté en la posición OFF (apagado) y que la misma esté desenchufada.
- Corte y extraiga el conector hembra del cable de la Fotocélula 1.



**Figura 5.4** Cable de conexiones rápidas

- Enchufe el conector macho (del cable de la Fotocélula 1) en el puerto de entrada de la Fotocélula 1 que está ubicado en la parte posterior de la Unidad de Control MCP-4.

# MCP-4P DIAGRAMA DE CONEXIÓN MCP-4P

MWS0728

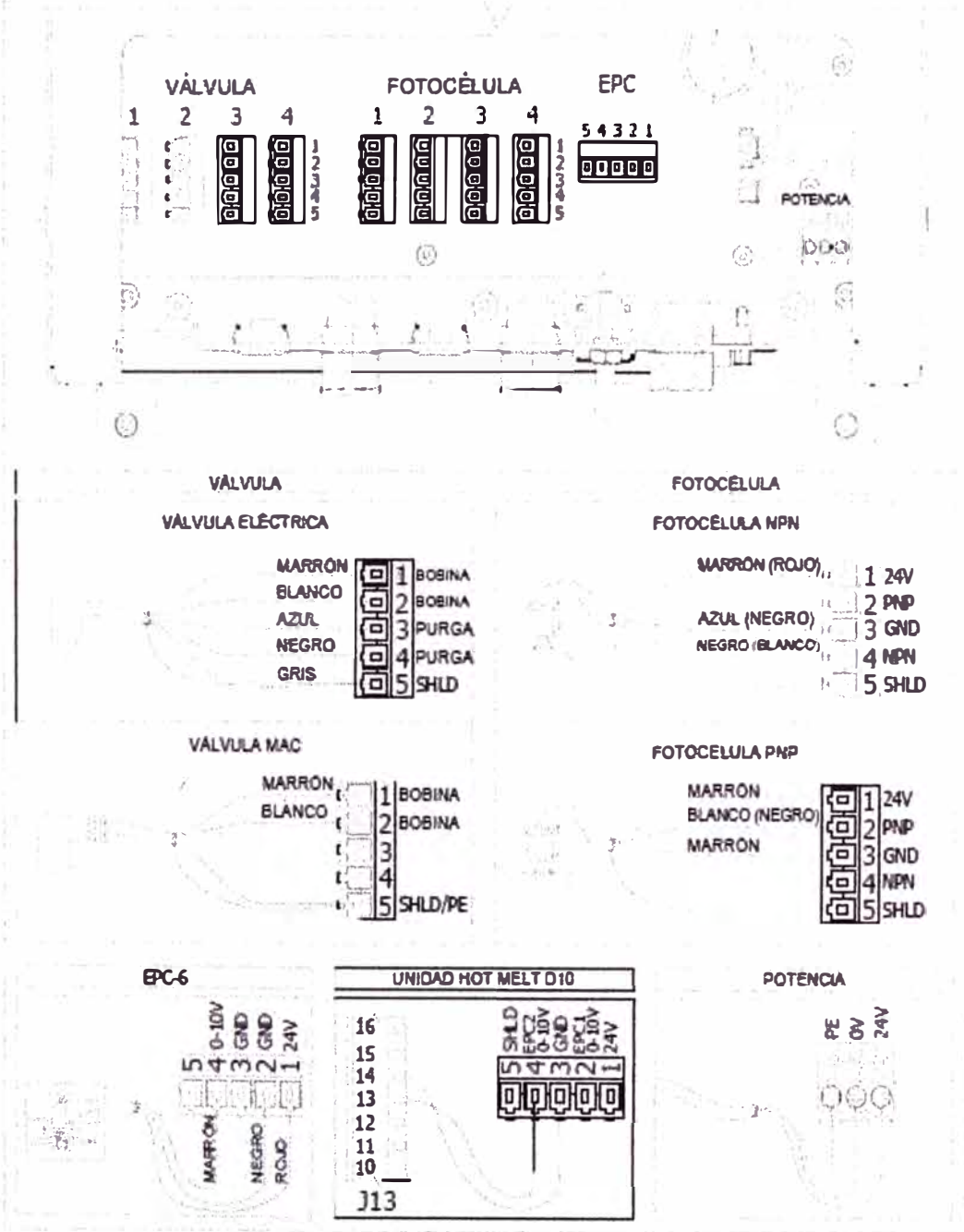
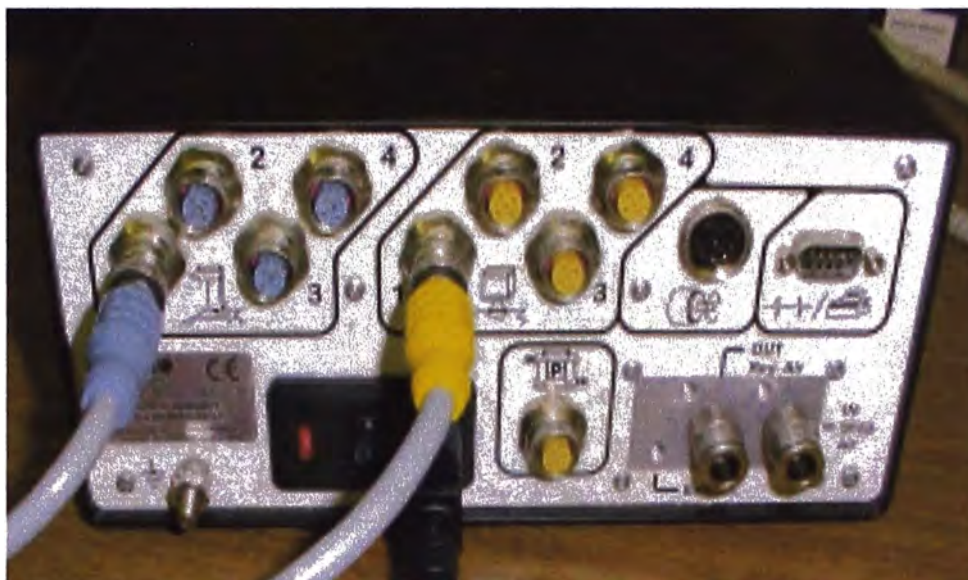


Figura 5.5 Conexiones de cableado en campo.



**Figura 5.6** Conexiones de Válvula y sensor (fotocélula)

- Retire cuidadosamente la cubierta del cable de la fotocélula hacia atrás y remueva los aislamientos individuales de los cables aproximadamente 0,25 pulgadas.
- Conecte el cable de la fotocélula ya modificado de acuerdo con la figura de conexiones Figura 5.5.

## **Programación**

### **a) Utilización de la interfaz del operador**

Los Botones de la Interfaz del Operador pueden agruparse en cuatro categorías como se observa en la Figura 5.7.





- Botones de menú principal
- Botones de válvula
- Botones de navegación
- Botones de edición



**Figura 5.7** Botones de la Interfaz del Operador.



### b) Accionamientos del menú principal.

Hay 5 accionamientos del menú principal. El LED en el lado superior izquierdo de los botones indica el botón del menú principal que se ha seleccionado.

-  Botón de presión: Al presionar el botón de presión es posible comenzar a ingresar los ajustes de presión.
-  Botón de configuración: Al presionar el botón de configuración se puede comenzar a configurar la unidad de control MCP-4.
-  Botón de diagnóstico: Al presionar el botón de diagnóstico es posible ver los diagnósticos de la unidad de control MCP-4.
-  Botón de trabajo – Al presionar el botón de trabajo es posible guardar y cargar un trabajo.

### c) Accionamiento de válvulas


Hay 5 botones de válvula:

-  Botón de purga: Al presionar el botón de purga es posible encender y apagar el modo de purga manual.
-  Botones 1-4 de válvulas: Al presionar los botones de válvulas individuales, se ordena a la unidad de control MCP-4 cuál es la válvula que utilizará para el trabajo que

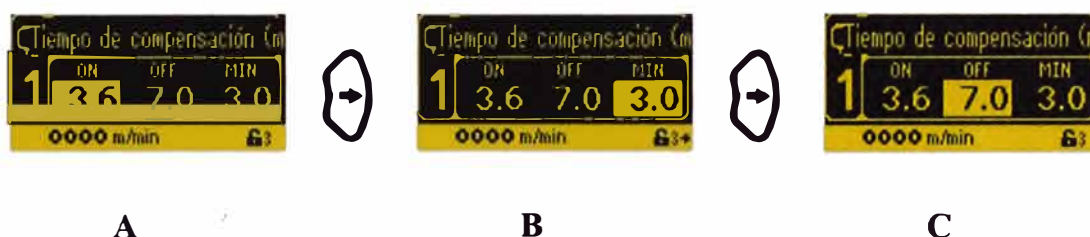
ejecutará. El LED en el lado superior izquierdo de los botones indica la válvula que se ha seleccionado.

#### d) Accionamientos de navegación


Hay 2 botones de navegación: el botón de flecha derecha y el botón de flecha izquierda.

 Botón de flecha derecha: Al presionarse el botón de flecha derecha el cursor se mueve a la derecha, resaltando cada campo editable ver las Figura 5.8.

Cuando no hay más campos editables en la pantalla susceptibles de ser resaltados, puede aparecer un símbolo de flecha derecha en el vértice inferior derecho de la pantalla ver la Figura 5.8 B. Si aparece dicho símbolo de flecha derecha significa que hay una pantalla de menú adicional a la derecha de la visualización actual. Presione el botón flecha derecha para ver la pantalla de menú que está a la derecha.



**Figura 5.8 Botones de navegación**

 Botón de flecha izquierda: Al presionarse el botón de flecha izquierda el cursor se mueve a la izquierda, resaltando cada campo editable ver las Figuras 5.9 A, B.

Si aparece un símbolo de flecha izquierda en el vértice inferior izquierdo de la pantalla, indica que hay una pantalla de menú adicional a la izquierda de la visualización actual ver las Figura 5.9. Presione el botón flecha izquierda para ver la pantalla de menú que está a la izquierda de la visualización actual.



**Figura 5.9 Pantalla de menú**

### e) Accionamientos de edición

Hay 4 botones de edición: el botón “+”, el botón “-”, el botón para borrar, y el botón OK para aceptar. Dichos botones se usan para cambiar / introducir información.



Botón “+” – Al presionar el botón “+” se puede incrementar el valor de la entrada.



Botón “-” – Al presionar el botón “-” se puede reducir el valor de la entrada.



Botón para borrar – Al presionar el botón para borrar se puede regresar a los ajustes predeterminados de fábrica. Si se mantiene apretado por más de cinco segundos el botón para borrar se cambiarán todos los ajustes de patrón a “0”.



Botón OK de aceptar – Al presionar el botón OK de aceptar se abre y cierra el control con ruedas accionadas por el pulgar.

Además “abre” las pantallas de menú resaltadas para edición.

### f) Ajuste de variables

#### ➤ Velocidades de presión mínima

V (m/min) – Es la velocidad mínima de la máquina.

P (%) – Es el porcentaje de presión.

Se puede apreciar la figura 5.11



Figura 5.11 Velocidad mínima.

#### ➤ Velocidades de presión máxima

Cuando se habilitan uno o dos puntos de presión, las dos visualizaciones graficas se designan “PT1” y “PT2” respectivamente. Dichos puntos de presión se configuran simplemente como las presiones máxima y mínima, se aprecia en figura 5.12.





**Figura 5.12** Velocidad máxima

➤ **Punto de presión 1 (PT1)**

Cuando se programa para trabajar con 2 puntos de presión, se configura la presión PT1 presión mínima y la presión PT2 presión máxima, se aprecia en las figuras 5.13 y 5.14.



**Figura 5.13** Presión PT1

➤ **Punto de presión 2 (PT2)**



**Figura 5.14** Presión PT2

➤ **Modo de medición**

Visualiza la velocidad en modo de medición de la maquina corrugado, cartón plegado, bobinado del núcleo y otras aplicaciones, se programa en unidades de m/min., ver figura 5.15, parte inferior de la pantalla del controlador.



Figura 5.15 Modo de medida

➤ **Modo de medición – Codificador**

También se puede programar para que trabaje con un codificador (encoder), ingresando su diámetro de la rueda con las unidades en pulgadas o milímetros (mm), se visualiza en la figura 5.15.

- **Modo de medición – Temporizador** – Ajuste del temporizador en segundos o Milisegundos, se programan para temporizar válvulas del controlador, ver figura 5.16.



Figura 5.16 Modo de medición en temporizador

### 5.3 Control de alineamiento del papel

#### 5.3.1 Controlador maxcess FIFE [7]

Para la máquina se requiere alinear el recorrido del papel, puesto que si no se hace no será factible superponer y pegar en forma adecuada y con la cantidad de cola suficiente para este fin, lo cual originara roturas en la unión de las bandas de papel por mal pegado en los bordes de la banda lo que finalmente propiciara paradas en la línea corrugadora, para tal fin hemos seleccionado un controlador Maxcess el cual mediante un polín, con ayuda de un pistón neumático controlado por servo motor, definen la posición del polín de tal manera que su movimiento es contrario al desalineamiento del papel, se detecta el borde del papel con un sensor infrarrojo tipo barrera y se define su posición exacta.

La parte de control de los alineadores se compone por un sensor de luz (IR) y por un controlador por cada equipo, los sensores se sitúan con una guía al borde de la banda del papel a la salida del material antes de ingresar a las piedras de afilado (*skaivers*). Adicionalmente los controladores están situados en la parte exterior de la máquina en una posición de fácil acceso y control del operador, se visualiza en la Figura 5.17.



**Figura 5.17** Controladores de Alineamiento FIFE – Polaris.

El sistema electromecánico “Fife” utiliza un sistema de servo motor para el control de lazo cerrado para mantener la banda de papel en la posición lateral deseada en una línea de proceso de “gemeleado”. Los componentes del sistema incluyen sensores, un procesador de señal, y una estructura de guía que es accionado por un actuador electromecánico. Un sistema típico utiliza sensores de luz infrarroja, pero otros tipos están disponibles para otras aplicaciones. La guía usada es un rodillo controlado por un pistón electromecánico para compensar el desvío y alinear el borde de la banda de papel.

La luz infrarroja viaja a través de la brecha del sensor hacia un receptor IR. La corriente producida por el receptor IR depende de la cantidad de luz que incide sobre él. La cantidad de luz de LED disponibles para evitar el receptor es gobernada por la posición lateral del papel en el sensor. Si el papel se mueve en el sensor, menos luz incide en receptor. Si el papel se mueve hacia fuera del sensor, más luz incide en la célula. Por lo tanto, como el papel se mueve lateralmente en el sensor, la corriente producida por la célula varía debido al cambio de luz. Con el papel en un cierto punto (llamado punto de guía), la corriente es estable a un valor determinado (llamado el punto centro). El sensor convierte la corriente en un pequeño voltaje. Las Instrucciones y el plano de la instalación se ubican en los planos correspondientes del Anexo B, Planos N°5.2 y N°5.3.

El procesador de señal detecta cualquier diferencia entre la tensión debido a la posición real del papel y la tensión en el punto centro. Si hay una diferencia, las salidas del procesador darán un voltaje al servo motor de corriente continua en el conjunto del actuador. El motor girará con precisión el mecanismo que hace que la estructura de guía puede moverse, con lo que el papel volverá al punto centro. La velocidad de corrección es proporcional a la cantidad de error de posición del papel detectado. La guía sólo se moverá si el papel se aparta del punto de centro.

El punto de guía de ajuste y el control opcional remoto puede ser utilizado para variar eléctricamente el punto de control en el sistema de guía del papel. Las instrucciones de uso de este manual se analizan el funcionamiento de estos controles.

El dispositivo opcional del servo-centro se utiliza para ubicar la guía en una posición centrada es decir, con el rollo alineador como guía paralela a los otros rodillos en la línea de proceso. Esta función es útil durante la operación del papel en el inicio del proceso. Cuando el sistema está en el modo de operación de servo -centro el sistema no responde a la señal de los sensores.

Se adjunta en el Anexo B, los Planos de diseño: N° 5.1, N°5.2 y N°5.3 para mayor entendimiento.

### **5.3.2 Conexiones**

Ver detalles de las conexiones con el Sistema Procesador de Señales en el Anexo B, Plano N°5.3.

### 5.3.3 Funciones y definiciones del controlador maxcess

- **Automático:** En este modo la corrección se aplica al moviendo del papel en respuesta a la lectura del sensor que ha sido seleccionado. Es decir el polín controlado por un controlador servo mecánico se moverá contrariamente al papel para centrar el borde del papel a la posición requerida
- **Servo - centro:** En este modo la guía es centrada en su recorrido en respuesta a la salida del transductor del servo-centro. Es decir el polín controlado por el controlador mediante el sistema servo mecánico estará ubicado de forma paralela a los demás polines de guía de papel.
- **Manual:** En este modo la corrección se aplica directamente a la guía. Esta tecla también se usa para abortar los cambios realizados en los menús de configuración y para salir de los menús de configuración. Es decir se mueve el polín controlado por servomotor en la dirección que se crea conveniente sin que los sensores corrijan o actúen.
- **Sensor:** En este modo selecciona el sensor (s) que se utilizará para la vigilancia la posición del papel cuando el sistema está en modo automático. El sensor seleccionado es permitido en los modos manuales y servo-centro.
- **Configuración:** En este modo utiliza para entrar en los menús de configuración para configurar y ajustar el sistema de guiado.
- **- Flecha:** En este modo utiliza para refrescar la guía. La dirección del movimiento guía es configurable. Esta tecla también se utiliza durante las configuraciones para desplazarse a través de la configuración menú y ajustar los parámetros de configuración.
- **Enter:** En este modo se utiliza en la los menús de configuración para ingresar al menú seleccionado y almacenar los parámetros modificados.
- **+ Flecha:** En este modo se utiliza para refrescar la guía. La dirección de la guía el movimiento es configurable. Esta tecla también se utiliza durante las configuraciones para desplazarse por los menús de configuración y ajustar los parámetros de configuración.

### 5.4 Controlador de velocidad del papel y del proceso

El control de velocidad se ejecuta con ayuda de un variador de velocidad que está programado para operar al inicio con una velocidad de empalme de 5m/min para poder guiar el papel a

través de los polines trasmisores y realizar el recorrido, pasando a través del *skaiver*, pasara luego al pegado para presentarlas y guiarla hasta el rodillo rebobinador, se encola al tubo de cartón para iniciar el pegado y el rebobinado respectivo.

Después de calibrar la cantidad de lijado de los *skaivers* a las bobinas, alinear bien las bobinas y controlar el inyector de cola en su lugar correcto de aplicación. Recién se podrá incrementar la velocidad de la maquina gemeladora. Incrementa velocidad de a pocos de tal manera que se va controlando la tensión adecuada a los papeles de tal forma que no arrugue ni rasgue para poder rebobinar. Este incremento de velocidad se realiza en etapas cuidando y verificando la calidad de gmeleo es decir control de: pegado (cantidad de goma), velocidad y alineamiento. Este control se logra mediante la programación adecuada del variador de velocidad utilizando rampas de aceleración de velocidad adecuada en el orden de los 3 a 5 segundos de respuesta al cambio o incremento de velocidad, se le realiza una sintonía fina al motor mediante este parámetro en el variador, también se ingresa los datos técnicos del motor como: potencia, voltaje, corriente, frecuencia, torque, etc., se adjunta el plano de conexiones del variador en el plano del anexo B plano 5.4.

#### **Variador de velocidad Delta C2000 [8].**

Para la maquina se instaló el variador Delta C2000

Se programara de acuerdo a los datos técnicos siguientes:

- Trifásico
- Potencia de 50 HP
- Voltaje de energía eléctrica 440vac
- Frecuencia 60 Hz
- Velocidad del motor 1750 RPM
- Corriente de carga nominal en placa de motor jaula de ardilla siemens, 72 Amperios
- Programable con *Autotunig* para el cálculo automático interno de los parámetros de los bobinados del motor, este se usa para desarrollar la máxima eficiencia en el motor con ayuda del variador.
- La rampa de aceleración y desaceleración debe ser de 3 a 5 segundos para obtener

rápidas respuestas a los cambios de velocidad.

- Se programa velocidad mínima o *Jog* para arranque de maquina aproximadamente a 150 rpm.

### **Conexiones**

Se adjunta el plano de conexiones del variador Delta C 2000 en el Anexo B, Plano N°5.4.

## CÁPITULO VI ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se analiza el costo de diseño (proyecto) de la máquina, se presenta la Tabla 6.1 de los gastos del diseño, también se adjunta el costo de materiales y fabricaciones de estructuras, polines guidores, skivers para la máquina bobinadora desbobinadora de papel, este costo se indica también en el cuadro de gastos del proyecto, ítem 6.

Así mismo se presenta un análisis del cronograma de ejecución del diseño con uso del software Project 2013, donde se planifica las actividades e hitos en las diferentes fases del diseño, se adjunta la hoja de los recursos (personal empleado), se adjuntan en el Anexo D.

### Costos del proyecto

Se adjunta los costos del proyecto en la TABLA N° 6.1.

**TABLA N° 6.1 Costo del proyecto**

COSTO DEL PROYECTO MAQUINA BOBINADORA DESBOBINADORA DE PAPEL					
Item	DESCRIPCION EQUIPO O MATERIAL	CTD.	UND.	COSTO UND. \$	COSTO TOTAL \$
1	Alineador de papel, Maxcess FIFE	2	EQ.	20,000	40,000
2	Control de goma MCP – 4F, Valco	1	EQ.	15,000	15,000
3	Variador de velocidad de 50 HP, Delta C2000	1	EQ.	4,500	4,500
4	Control de goma proporcional EPC – 12P, Valco	1	EQ.	10,000	10,000
5	Tableros Eléctricos de fuerza y control	2	SRV.	3,000	6,000
6	Materiales y fabricación de estructuras, polines guidores, skivers	1	SRV.	37,966	37,966
7	Gastos de planilla	1	EQ.	10,500	10,500
<b>GASTO TOTAL \$</b>					<b>123,966</b>

### Costos fabricaciones y materiales de máquina

Se adjunta el costo de materiales y fabricaciones de estructuras, polines guidores, skivers, para máquina bobinadora desbobinadora de papel, se adjunta la TABLA N° 6.2.



**TABLA N° 6.2 Costo de materiales y fabricaciones bobinadora desbobinadora de papel**

**I. MATERIAL**

FECHA	CANTIDAD	DESCRIPCION	PESO U. KG	PESO T. KG	COSTO/U	PARCIAL	SUBTOTAL	TOTAL
001	2	PL INOX C-316L 12.7MM X 300MM X 2400MM	71,78	143,56	570,00	1.140,00		
							\$1.140,00	
<b>10-abr</b>	<b>PO 5292</b>	<b>TRADISA</b>				<b>USD</b>		
002	6	CANAL U 6 X 2.82 LB X 20"	74,39	446,34	67,32	403,93		
003	6	ANGULO 1/4" X 2.1/2 X 6000MM	35,03	210,18	32,69	196,12		
004	4	PLATINA 1/4" X 4" X 6000MM	29,07	116,28	27,93	111,73		
005	2	VIGA H A -992 6" X 15 LB X 20"	136,36	272,73	115,23	230,46		
006	6	TUBO CDO LAC 100MM X 6.0MM X 6000MM	107,76	646,56	90,52	543,10		
007	6	TUBO RECT LAC 50MM X 100MM X 3.0MM X 6000MM	41,97	251,82	35,26	211,58		
008	6	ANGULO 5/16" X 4" X 6000MM	74,09	444,54	67,68	406,07		
009	12	VIGA H A-992 12" X 40 LB X 30"	545,46	3272,73	460,91	5.530,88		
							\$12.730,59	
								<b>\$13.870,59</b>

**II. PINTURA**

FECHA	CANTIDAD	DESCRIPCION	PESO U. KG	PESO T. KG	COSTO/U	PARCIAL	SUBTOTAL	TOTAL
<b>10-abr</b>	<b>PO 5441</b>	<b>J &amp; S FERRETERA INDUSTRIAL</b>				<b>USD</b>		
001	5	METAL PRIMER	3,79	18,95	25,00	125,00		
002	7	ANTICORROSIVO ZINC	3,79	26,53	68,00	476,00		
003	6	DILUYENTE UNIVERSAL	3,79	22,74	10,50	63,00		
							\$664,00	
<b>12-mar</b>	<b>PO 5642</b>	<b>J &amp; S FERRETERA INDUSTRIAL</b>				<b>USD</b>		
001	15	METAL PRIMER	3,79	56,85	25,00	375,00		
							\$375,00	
<b>01-abr</b>	<b>PO 5730</b>	<b>J &amp; S FERRETERA INDUSTRIAL</b>				<b>USD</b>		
001	17	ZIN RICH	3,79	64,43	68,00	1.156,00		
002	8	UNIPOX MASTIC 5017 A+B	3,79	30,32	60,00	480,00		
003	3	UNIPOX MASTIC 1023 A+B	3,79	11,37	60,00	180,00		
004	16	ESMALTE EPOXICO 5017	3,79	60,64	25,00	400,00		
005	4	ESMALTE EPOXICO 1023	3,79	15,16	25,00	100,00		
006	16	DILUYENTE UNIVERSAL	3,79	60,64	10,50	168,00		
							\$2.484,00	
				367,63 Kg				<b>\$3.523,00</b>

**III SERVICIO**

FECHA	CANTIDAD	DESCRIPCION	PESO U. KG	PESO T. KG	COSTO/U	PARCIAL	SUBTOTAL	TOTAL
<b>19-abr</b>	<b>PO 5470</b>	<b>MAESTRANZA Y FABRICACIONES MEC. HECTOR</b>				<b>SOLES</b>		
001	21	Fabricacion de polin de 8" de diametro x 2.5m			1200,00	S/. 25.200,00		
<b>19-abr</b>	<b>PO 5476</b>	<b>MAESTRANZA Y FABRICACIONES MECANICAS EIRL</b>						

\$19.714,29

\$19.714,29

**IV. PERNOS**

FECHA	CANTIDAD	DESCRIPCION	PESO U. KG	PESO T. KG	COSTO/U	PARCIAL	SUBTOTAL	TOTAL
<b>18-may</b>	<b>PO 5438</b>	<b>FIJACIONES CORNEJO</b>		0,00		<b>USD</b>		
001	100	PERNOS.HEX 5/32 X 1/2" G-2 ZINC /COMPLETO	0,00	0,00	0,01	1,00		
002	100	PERNOS.HEX 5/32 X 3/4" G-2 ZINC /COMPLETO	0,00	0,00	0,008	0,80		
003	100	PERNOS . HEX 5/32 X 1" G-2 ZINC / COMPLETO	0,00	0,00	0,1	10,00		
004	200	PERNOS . HEX 3/16 X 1/2" G-2 ZINC / COMPLETO	0,00	0,00	0,008	1,60		
005	100	PERNOS . HEX 1/4" X 3/4" G-2 ZINC / COMPLETO	0,00	0,00	0,02	2,00		
006	100	PERNOS HEX. 3/8 X 3/4" G-2 ZINC /COMPLETO	0,00	0,00	0,04	4,00		
007	200	PERNOS HEX. 3/8 X 1" G-2 ZINC /COMPLETO	0,00	0,00	0,05	10,00		
008	100	PERNOS HEX.3/16 X 1" G-2 / COMPLETO	0,00	0,00	0,01	1,00		
009	100	PERNOS HEX. 3/16 X 13/4" ZINC / COMPLETO	0,00	0,00	0,01	1,00		
010	100	PERNOS HEX. 1/4" X 1" ZINC / COMPLETO	0,00		0,02	2,00		
							\$33,40	\$33,40

**HERRAMIENTAS**

FECHA	CANTIDAD	DESCRIPCION	PESO U. KG	PESO T. KG	COSTO/U	PARCIAL	SUBTOTAL	TOTAL
<b>19-abr</b>	<b>PO 5365</b>	<b>REPRESENTACIONES ANTIS</b>		50		<b>USD</b>		
001	50	DISCO DE CORTE DE 4 .1/2 X 3/64	1	50	0,92	46,00		
002	50	DISCO DE CORTE DE 4 .1/2 X 3/64	1		2,90	145,00		
							\$191,00	
<b>09-ene</b>	<b>PO 5394</b>	<b>SEDISA</b>		X		<b>SOLES</b>		
001	50	CEPILLO CIRCULAR TRENZADO 4 1/2	X		19,62	<b>5/. 981,00</b>		
							\$350,36	
<b>27-ene</b>	<b>PO 5440</b>	<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>USD</b>		
001	6	BROCA COBALTO 3/4			30,10	180,60		
002	6	BROCA COBALTO 9/16			15,00	90,00		
							\$270,60	
<b>25-ene</b>	<b>PO 5448</b>	<b>MERCADO INDUSTRIAL PERUANO</b>				<b>USD</b>		
	1	MARCADOR T PLUMON FELTIP BLANCO				13,04		
							\$13,04	\$825,00

**COSTO TOTAL  
PROYECTO**

**\$37.966,27**

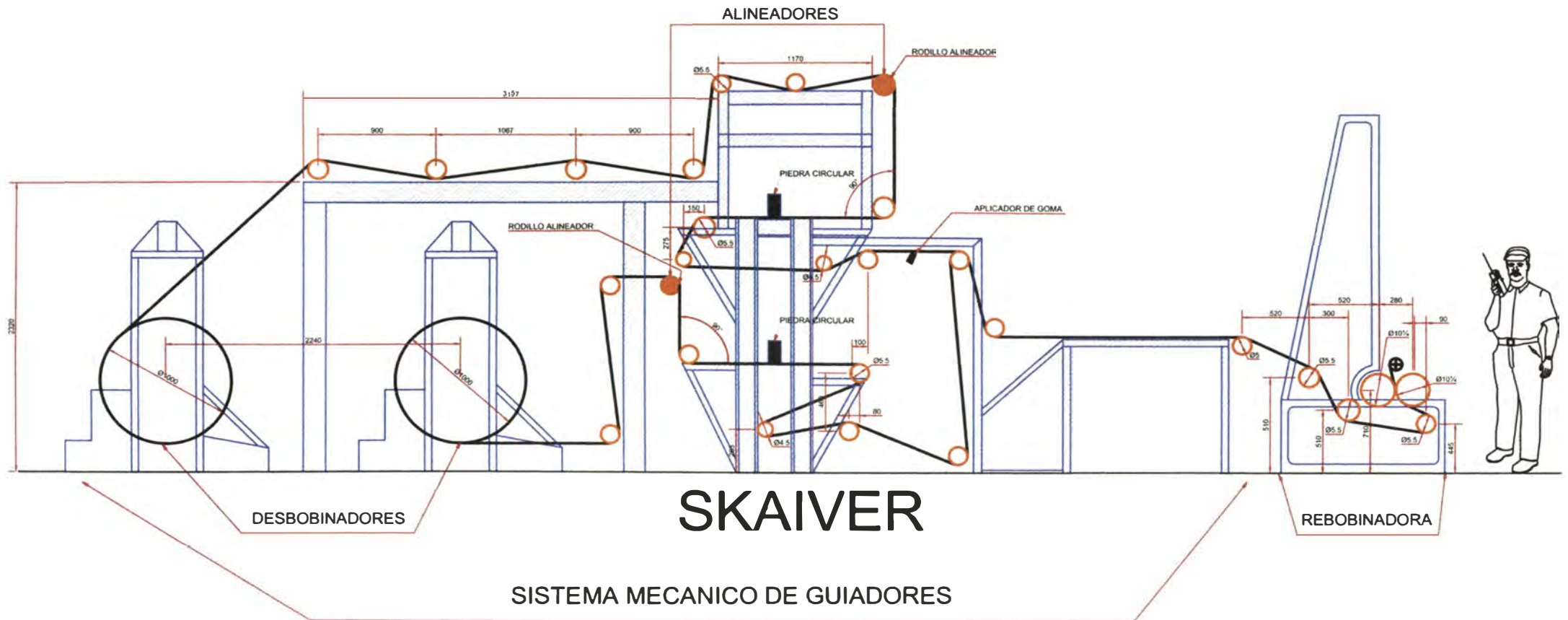
## CONCLUSIONES

1. Con el diseño se logra el objetivo trazado que se utiliza el 30% de bobinas pegadas, se eleva la productividad y se reduce el costo de compra de materia prima en bobinas enteras de papel. Con éste diseño se incrementa la producción y velocidad de la maquina al 100%, su velocidad de 100m/min a 200 m/min y la producción día de 14 Tn. a 30 Tn. de papel.
2. La producción mensual es 1000 Tn. de bobinas enteras de papel, el costo del diseño e implementación del proyecto es de \$/123,966, la tonelada de *side roll* cuesta \$500, la tonelada de bobina formato normal cuesta \$550, se usara el 30 % mensual *de side roll*, se ahorra \$15,000 mensuales recuperando la inversión en 8 meses, solo con ahorro en compra de papel.
3. El controlador de goma EPC-12P con aplicación de control PI, éste no es preciso a mayores velocidades o cambios rápidos, se concluye en aplicar un controlador MCP – 4P con accionamiento PID, se obtendrá respuesta de aplicación de goma uniforme a los cambios de velocidad del proceso.
4. Este diseño se integra en el proceso a través de un tablero de control el cual dispone: control de velocidad del proceso mediante variador de velocidad , el control de tensiones mediante frenos neumáticos de los desbobinadores, control automático del alineamiento de los bordes de las bandas de papel a ser desbastados, control de aplicación automática de la cantidad de goma, el control de encendido y apagado de los skavers, así como también el control y encendido del equipo de succión del polvillo del papel al realizar el lijado correspondiente.

5. Se coloca una serie de polines guidores, polines de superficie, polín danzarín, los cuales no son suficiente para el control de la tensión del papel que generara un desalineamiento. Esto se soluciona colocando un equipo alineador automático Fife Maxcess, que utiliza un polín con accionamiento neumático controlado por servomotor que corrige rápidamente los desalineamientos en tiempo real.
  
6. La operación de la máquina es difícil de controlar al mismo tiempo por el personal, las variables como la velocidad, aplicación de goma, alineamiento. Con los controladores propuestos se tiene la capacidad de respuesta a la dinámica del sistema con elevada precisión en su forma automática y manual.

**ANEXO A**

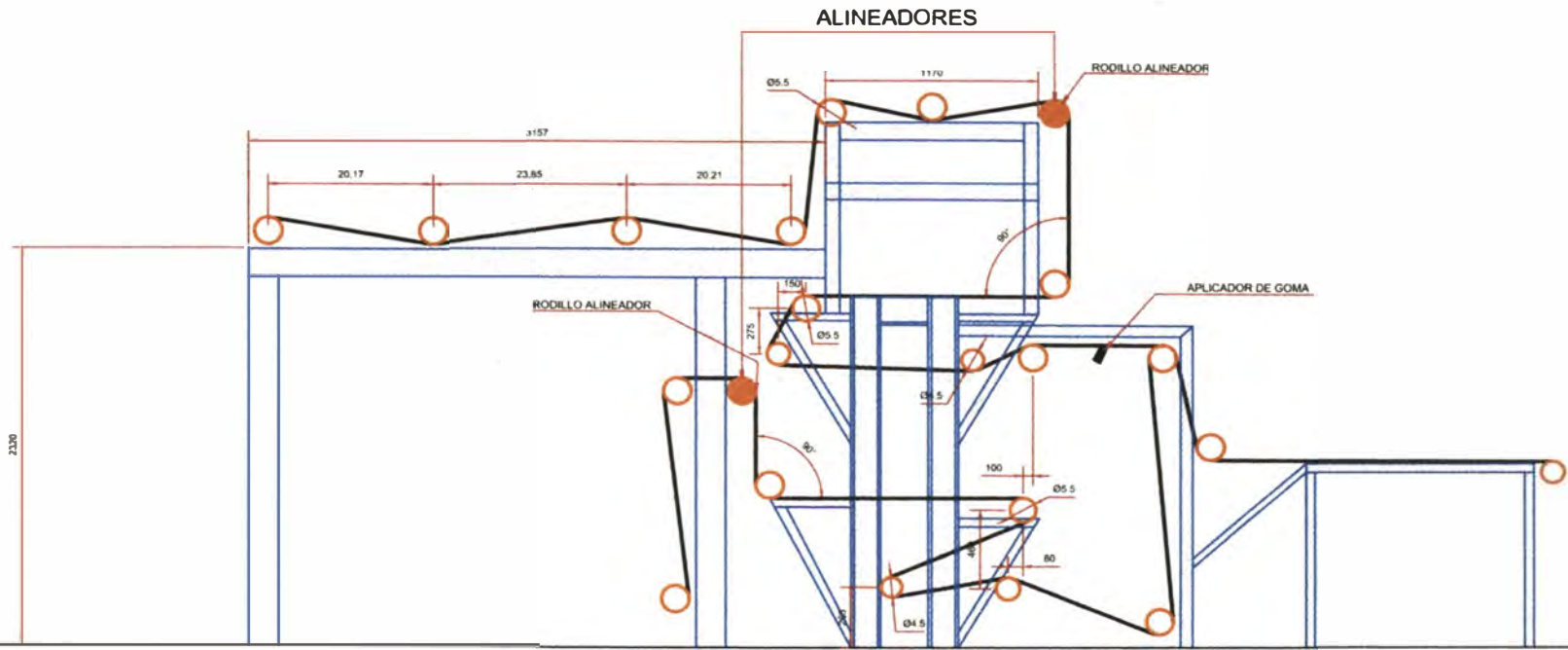
**PLANOS TEORÍA DE LA MÁQUINA BOBINADORA DESBOBINADORA DE PAPEL**



# SKAIVER

## SISTEMA MECANICO DE GUIADORES

DISEÑADO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		LA PLANTA PROPUESTA	REV:	PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			ESC: S/E	1.1
			FECHA: 24/08/14	



SISTEMA MECANICO DE GUIADORES

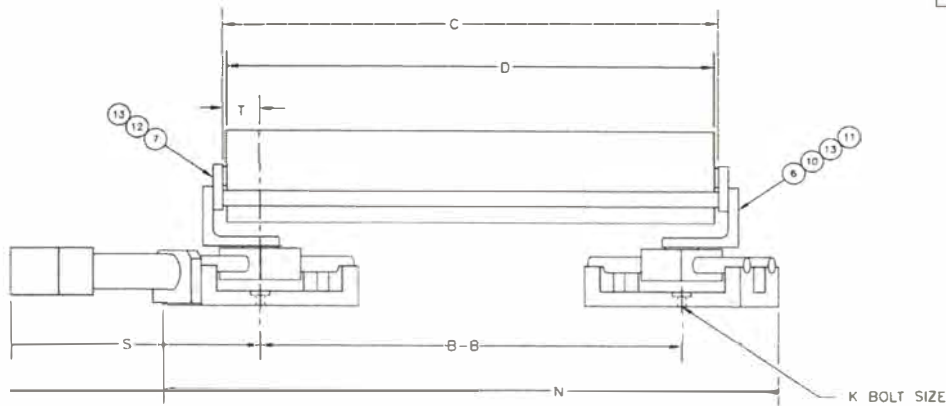
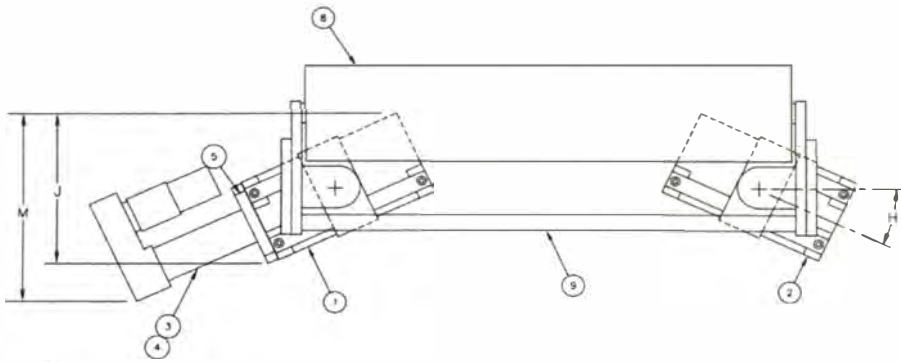
DISEÑO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		SISTEMA MECANICO DE GUIADORES	REV:	PLANO N° 1.2
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA			ESC: S/E	
			FECHA: 24/08/14	

**ANEXO B**

**PLANOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL**

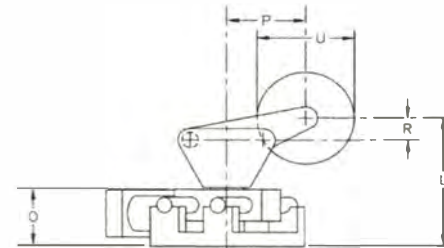


↑  
WEB TRAVEL



ESTILOS DE ENVOLVER EL PAPEL CON EL POLIN ALINEADOR				
1	A		9	
	B			
2	A		10	
	B			
3	A		11	
	B			
4	A		12	
	B			
5	NOT IN USE PRESENTLY		13	
6			14	
7			15	
8			16	

LISTA DE MATERIALES	
ITEM NO.	DESCRIPCION DE EQUIPOS Y/O MATERIALES
DESCRIPCION DEL MONTAJE DE RODILLO ALINEADOR	
1	BASE DE SOPORTE DE MONTAJE, ACTUADOR EXTREMA
2	BASE DE SOPORTE DE MONTAJE, ESCLAVO EXTREMO
3	MONTAJE DEL ACTUADOR
4	FIJACION DEL ADAPTADOR
5	SERVO CENTRO
6	SOPORTE PIVOT
7	ADAPTADOR DEL SOPORTE PIVOT
8	MONTAJE DEL RODILLO ALINEADOR
9	BARRA DE UNION PARA FIJAR POLIN ALINEADOR
10	PERNO CABEZA EXAGONAL DE 5/8" UNC X 2.25 LONG
11	PERNO CABEZA EXAGONAL DE 5/8" UNC X 1.25 LONG
12	PERNO CABEZA EXAGONAL DE 5/8" UNC X 1.50 LONG
13	AJUSTAR CON LLAVE RESORTE ESPIRAL CON ARANDELA DE 5/8.



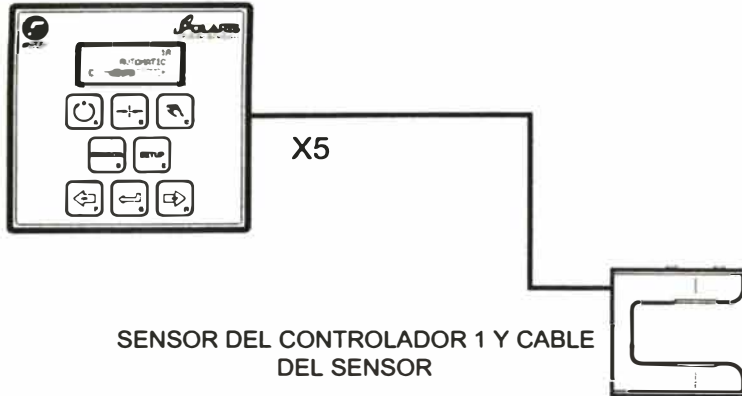
NOTAS:

- UN ENTRE HIERRO DE 0.030 +/-0.015 ES REQUERIDO ENTRE EL EXTREMO PARA EL MONTAJE DEL SERVO CENTRO Y EL AGUJERO PARA LOS 5/8 DE DIAMETRO DEL EJE ( PARA LA BASE DE SOPORTE DE MONTAJE).
- TODAS LAS DIMENSIONES MOSTRADAS EN EL SOPORTE ESTAN EN MILIMETROS.
- ESTE GUIADOR TIENE LA APLICACION PARA ENVOLVER EL PAPEL.
- EL ACTUADOR APLICA SU ORIENTACION (MOVIMIENTO) A MEDIDA QUE EL PAPEL LO REQUIERE POR SU DESVIO DE SU ALINEAMIENTO.
- EL RODILLO NO TIENE NINGUN REVESTIMIENTO APLICADO, ESTE ES UN ACERO CROMADO.

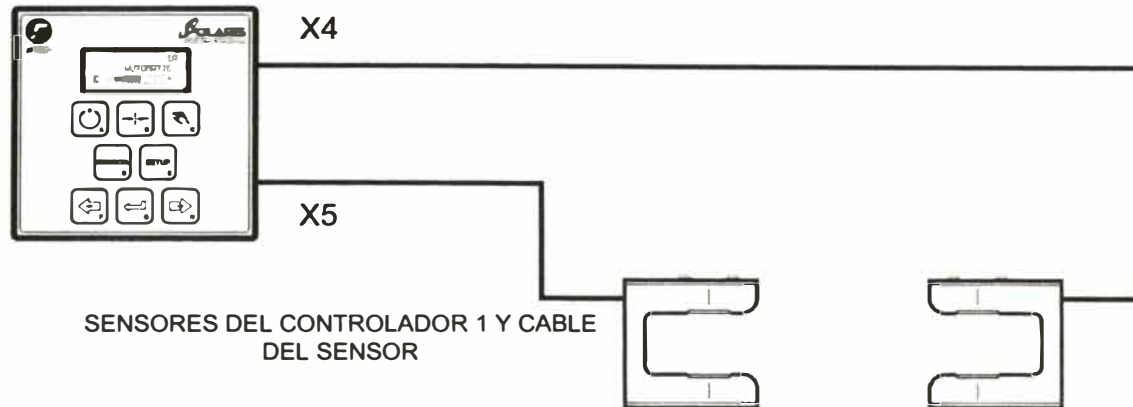
	B-B ± 0.03	C ± 0.03	D ± 0.03	H'	J ± 0.10	K	L ± 0.03	M ± 0.10	N ± 0.10	O ± 0.03	P ± 0.03	R ± 0.03	S ± 0.10	T ± 0.03	U DIA (5)	PESO APROX
PUL GADAS	62.22	66.50	66.00	25.00	9.18	0.50	8.13	12.90	73.72	3.50	5.00	1.50	17.13	2.14	4.00	124.02 LBS
MM	1581	1690	1677	25.00	234	13	207	328	1873	89	127	39	435	55	102	56.25 KG

DISEÑO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		PLANO DE MONTAJE DE POLIN ALINEADOR SISTEMA MAXCESS	REV:	PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			ESC: S/E	5.1
			FECHA: 24/08/14	

# SISTEMAS BASICOS Y ESQUEMAS DE CONEXION CABLE



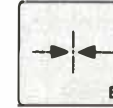
## ACCIONAMIENTO CON CONTROLADOR DE UN SOLO BORDE



## ACCIONAMIENTO CON CONTROLADOR DE DOS BORDES (GUIA CENTRO)



**AUTOMÁTICO:** En este modo la corrección se aplica al movimiento del papel en respuesta a la lectura del sensor que ha sido seleccionado. Es decir el polín controlado por un controlador servo mecánico se moverá contrariamente al papel para centrar el borde del papel a la posición requerida



**SERVO-CENTER:** En este modo la guía es centrada en su recorrido en respuesta a la salida del transductor del servo-Centro. Es decir el polín controlado por el controlador mediante el sistema servo mecánico estará ubicado de forma paralela a los demás polines de guía de papel.



**MANUAL:** En este modo la corrección se aplica directamente a la guía. Esta tecla también se usa para abortar los cambios realizados en los menús de configuración y para salir de los menús de configuración. Es decir se mueve el polín controlado por servomotor en la dirección que se crea conveniente sin que los sensores corrijan o actúen.



**SENSOR DE:** En este modo selecciona el sensor (s) que se utilizará para la vigilancia la posición del papel cuando el sistema está en modo automático. El sensor seleccionado es permitido en los modos manuales y servo-centro.



**CONFIGURACIÓN:** En este modo utiliza para entrar en los menús de configuración para configurar y ajustar el sistema de guiado.



**- FLECHA:** En este modo utiliza para refrescar la guía. La dirección del movimiento guía es configurable. Esta tecla también se utiliza durante las configuraciones para desplazarse a través de la configuración menús y ajustar los parámetros de configuración.

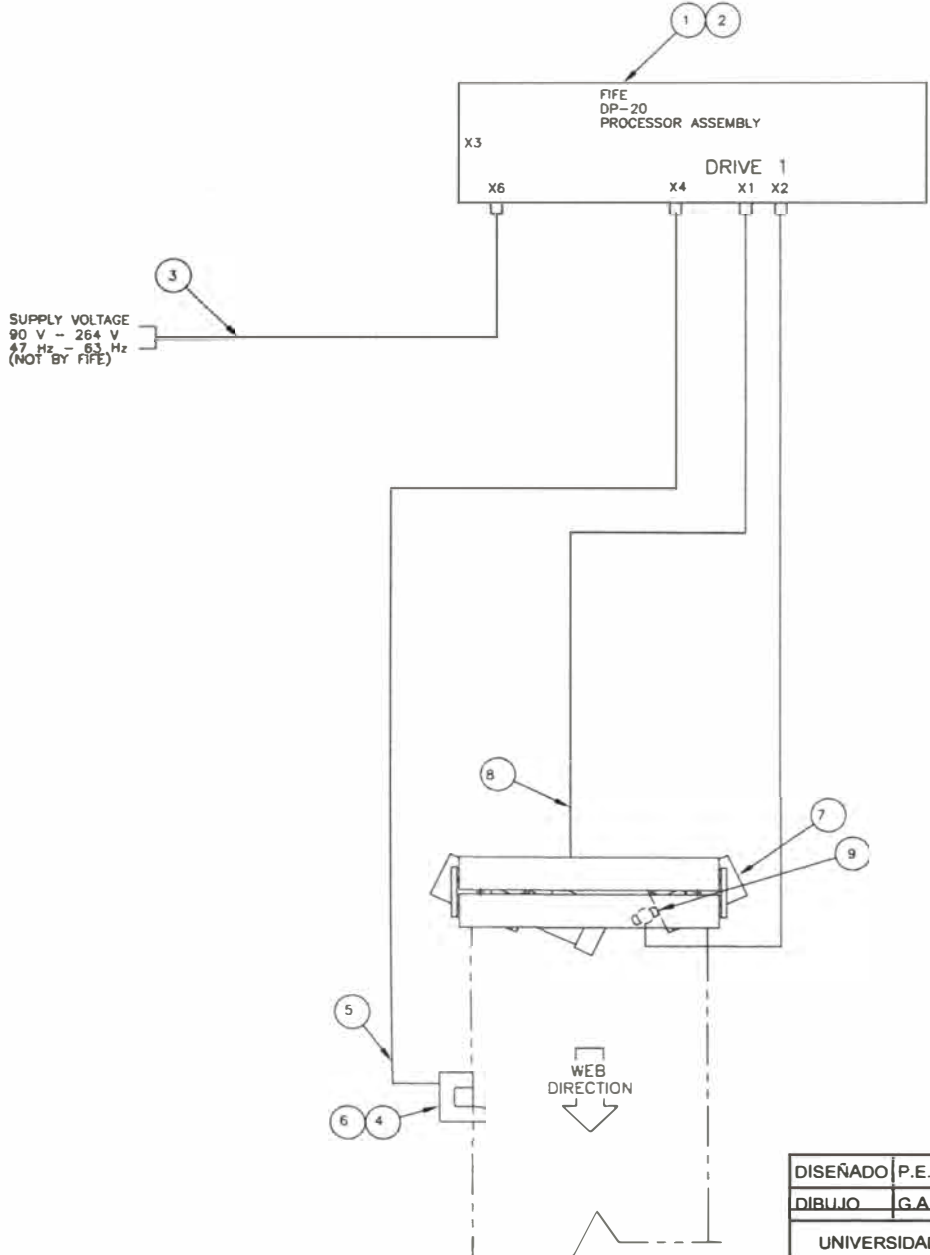


**ENTER:** En este modo se utiliza en la los menús de configuración para ingresar al menú seleccionado y almacenar los parámetros modificados.



**+ FLECHA:** En este modo se utiliza para refrescar la guía. La dirección de la guía el movimiento es configurable. Esta tecla también se utiliza durante las configuraciones para desplazarse por los menús de configuración y ajustar los parámetros de configuración.

DISEÑO	P.E.M		DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S			APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			POLARIS DP-20 CON CONTROLADOR Y SENSORES EN BORDES DE PAPEL	REV:	PLANO N° 5.2
				ESC: S/E	
				FECHA: 24/08/14	

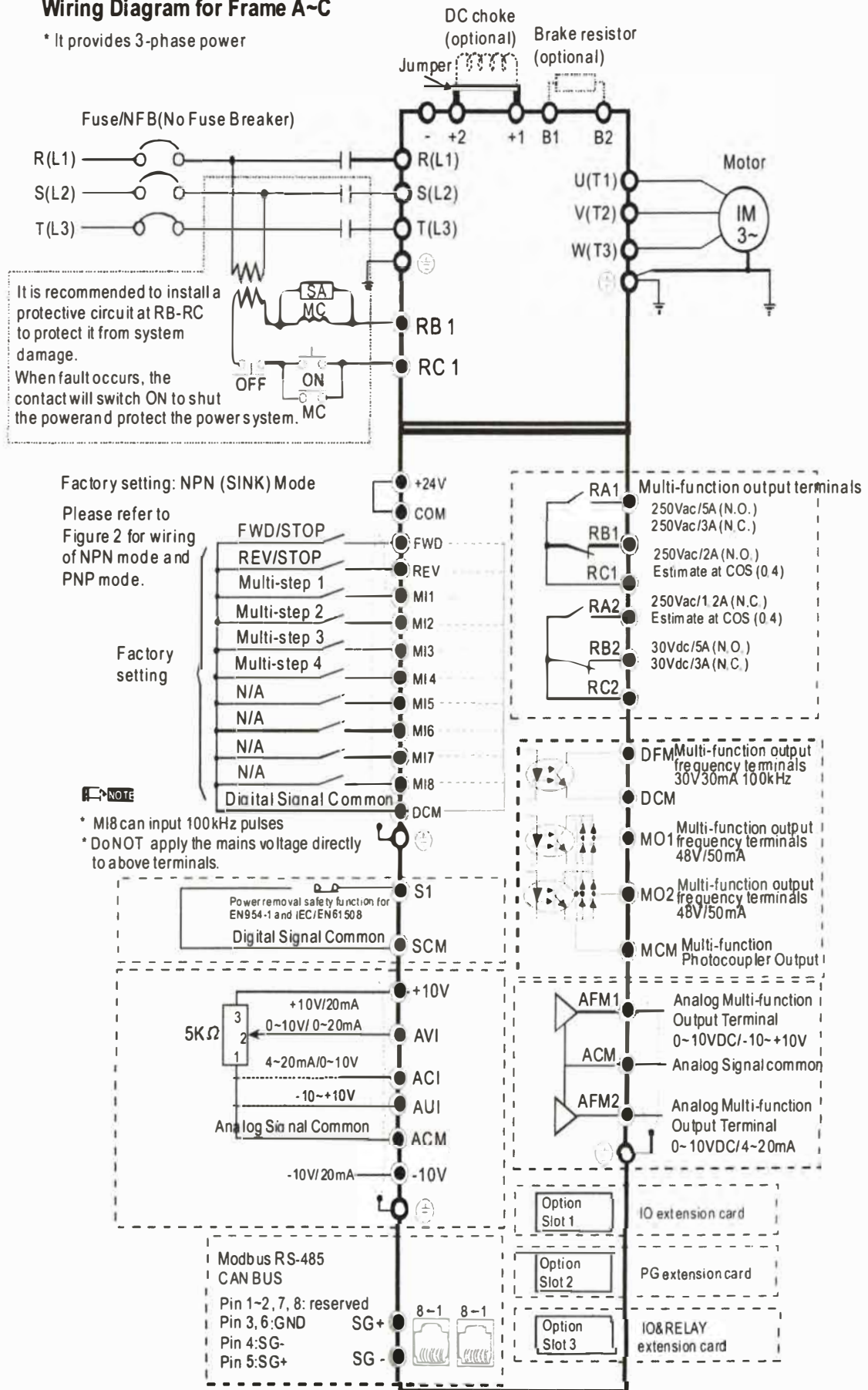


LISTA DE MATERIALES	
ITEM NO.	DESCRIPCION DE EQUIPOS Y/O MATERIALES
	DIAGRAMA DEL BLOQUE DE SISTEMA
1	CONTROLADOR DE GUIA DE PAPEL POLARIS DP-20
2	BASE METALICA PARA MONTAJE DE SOPORTE DE CONTROLADOR POLARIS DP-20
3	CABLE DE FUERZA DEL PROCESADOR DP-20
4	SENSOR INFRAROJO
5	CABLE DEL SENSOR
6	BASE METALICA DE MONTAJE DE SENSOR M-18
7	GUIA MECANICA PARA EL ACCIONAMIENTO DE POLIN ALINEADOR
8	CABLE DEL MOTOR 16 FT LG
9	SERVO MOTOR PARA ACCIONAMIENTO DE POLIN ALINEADOR DE PAPEL

DISEÑO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		SISTEMA DE BLOQUE DE CONTROL POLARIS DP-20 CON SISTEMA DE PROCESADOR DE SEÑALES	REV:	PLANO N° <b>5.3</b>
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			ESC: S/E	
			FECHA: 24/08/14	

# Wiring Diagram for Frame A~C

\* It provides 3-phase power



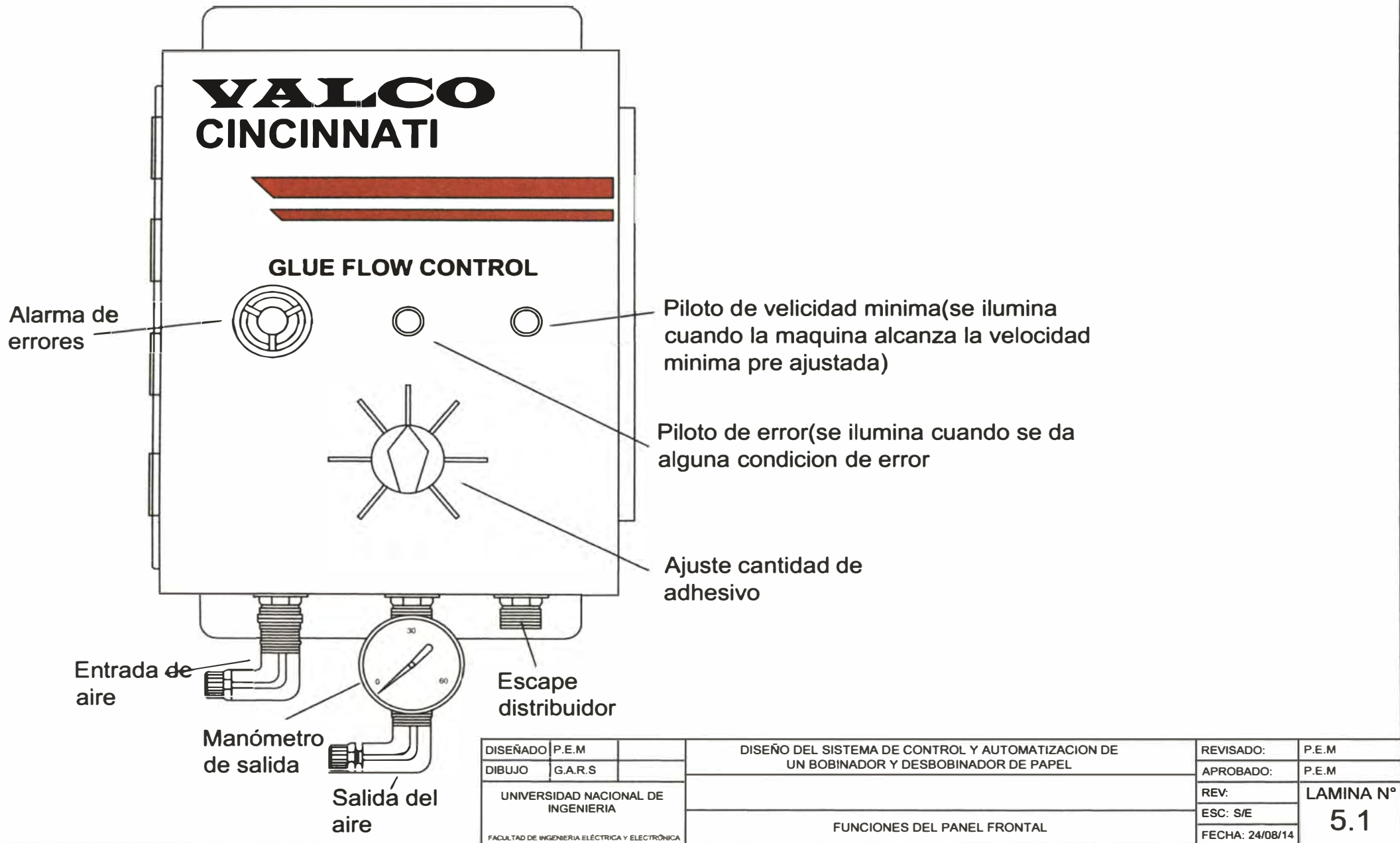
○ Main circuit (power) terminals ● Control terminals ◻ Shielded leads & Cable

DISEÑADO: P.E.M.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO: P.E.M.
DIBUJO: G.A.R.S.		APROBADO: P.E.M.
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		REV: PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA EL VARIADOR DELTA C-2000	ESC: 8/E 5.4
		FECHA: 24/08/14

**ANEXO C**

**LÁMINAS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL**

# FUNCIONES PANEL FRONTAL

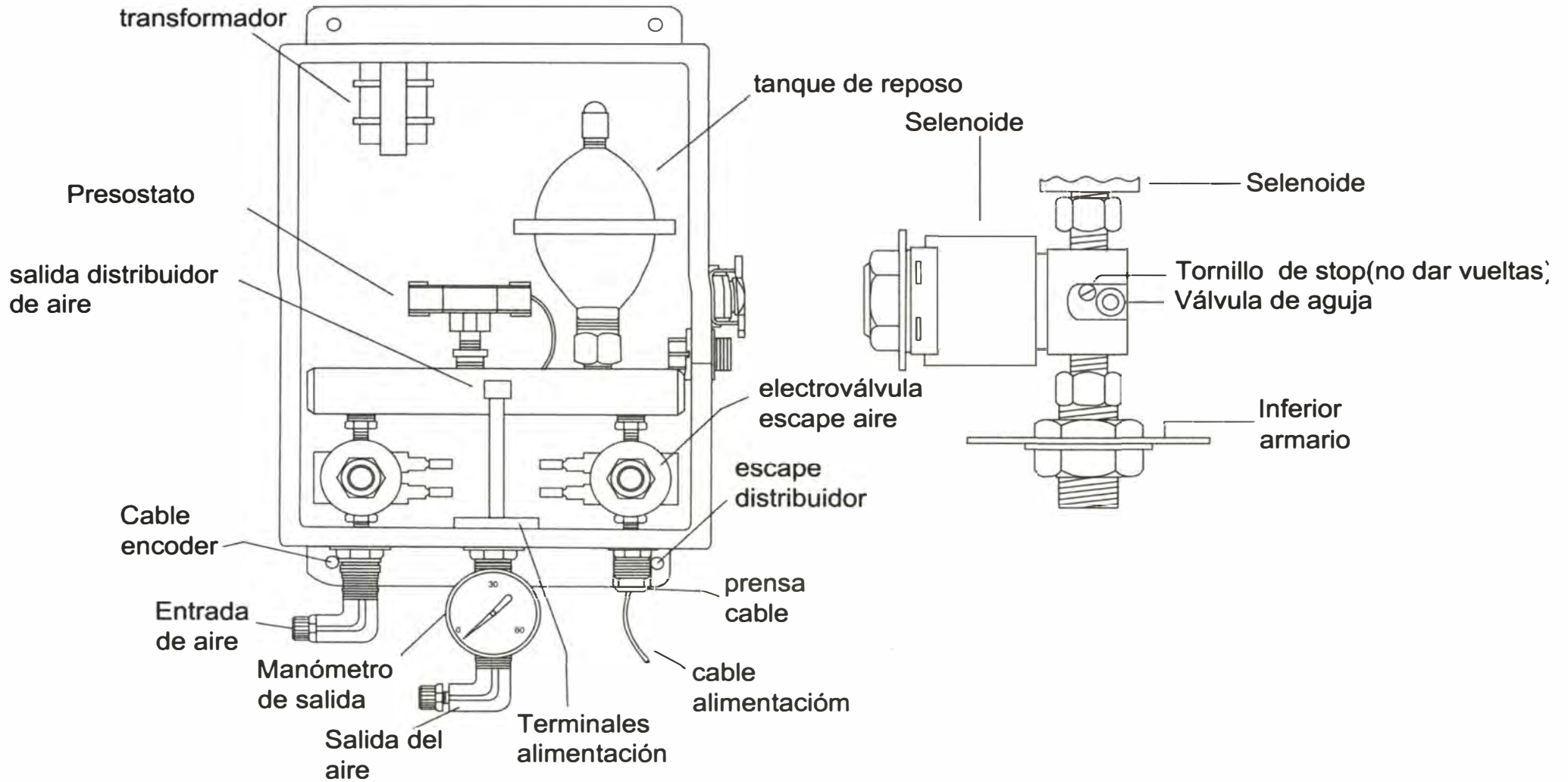


DISEÑADO	P.E.M	
DIBUJO	G.A.R.S	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
<small>FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</small>		

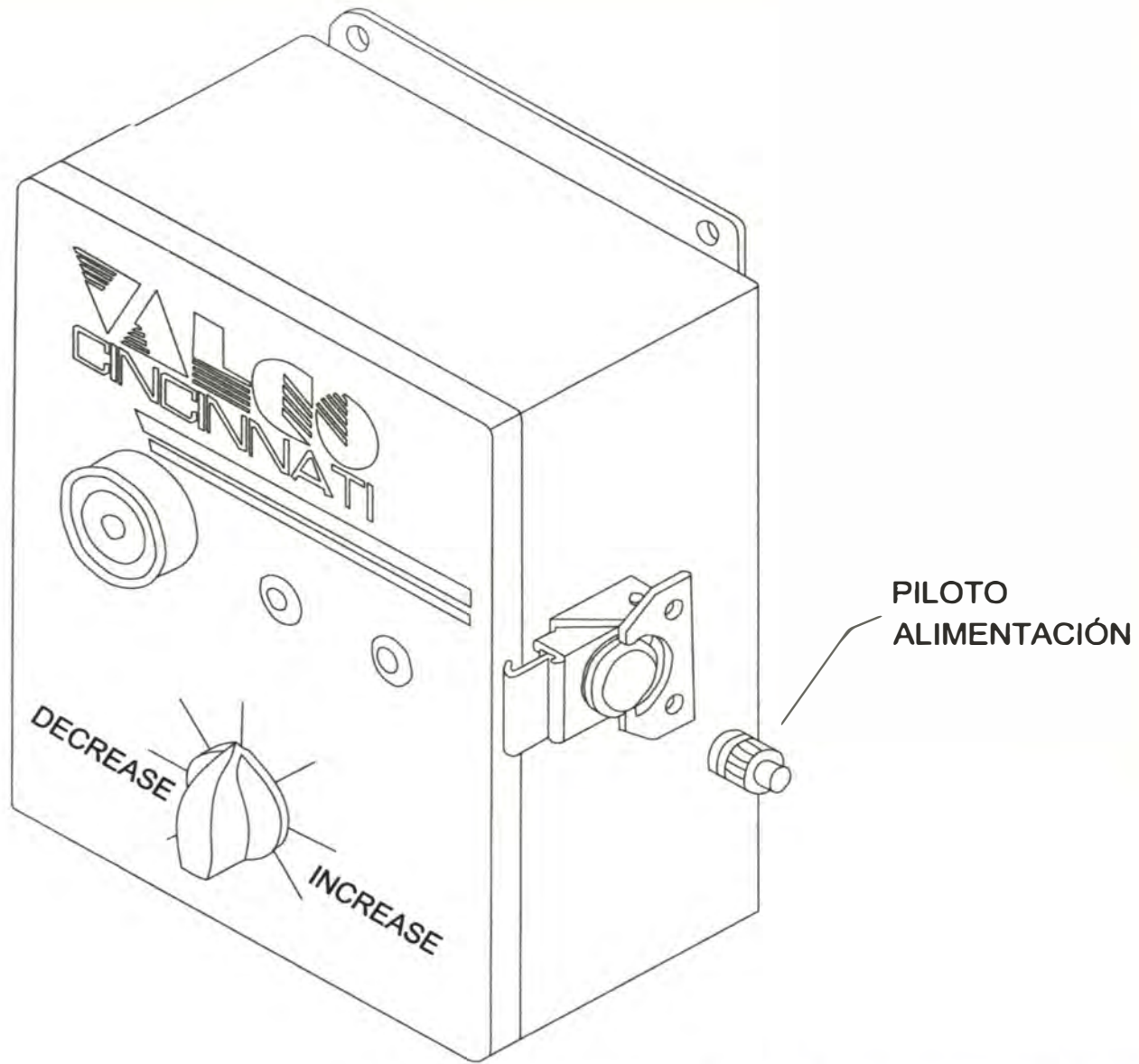
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL
FUNCIONES DEL PANEL FRONTAL

REVISADO:	P.E.M
APROBADO:	P.E.M
REV:	LAMINA N°
ESC:	S/E
FECHA:	24/08/14

# COMPONENTES INTERNOS

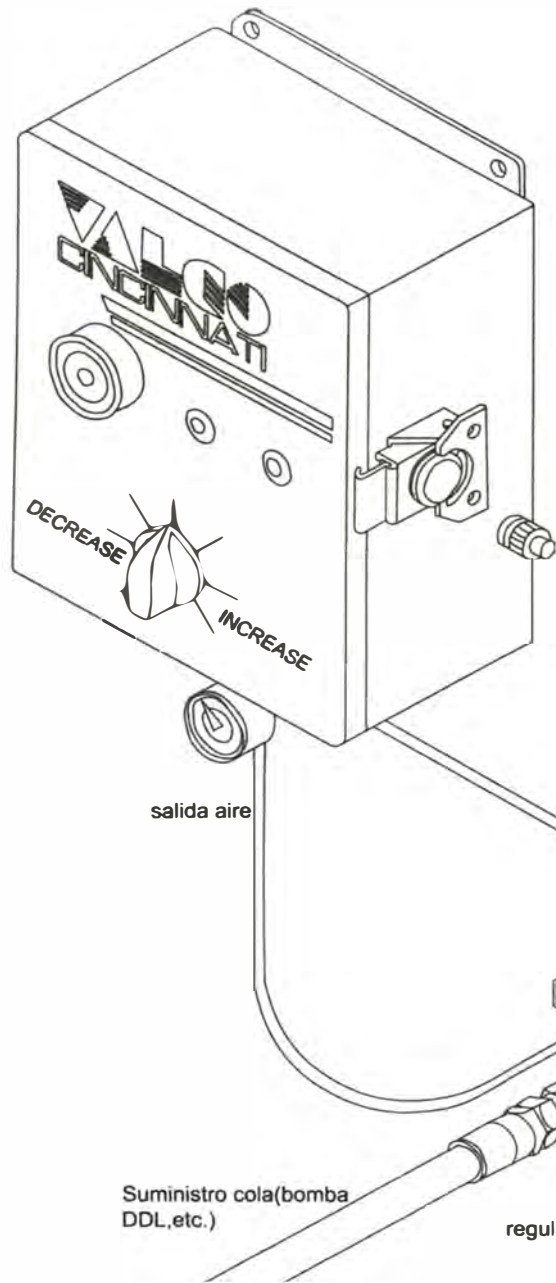


DISEÑADO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		COMPONENTES INTERNOS	REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			ESC: S/E	5.2
			FECHA: 24/08/14	

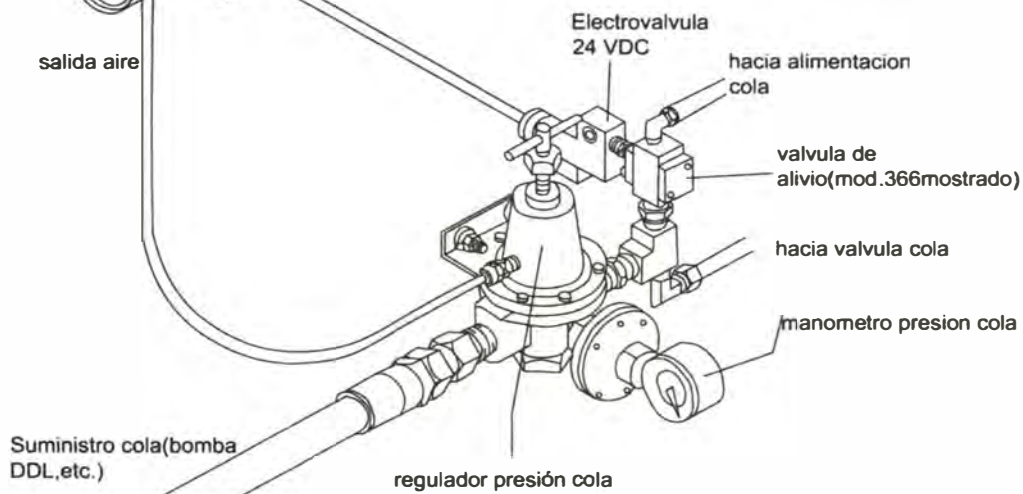


DISEÑO	P.E.M		DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S			APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA				REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			FUNCIONES DEL PANEL LATERAL	ESC: S/E	5.3
				FECHA: 24/08/14	



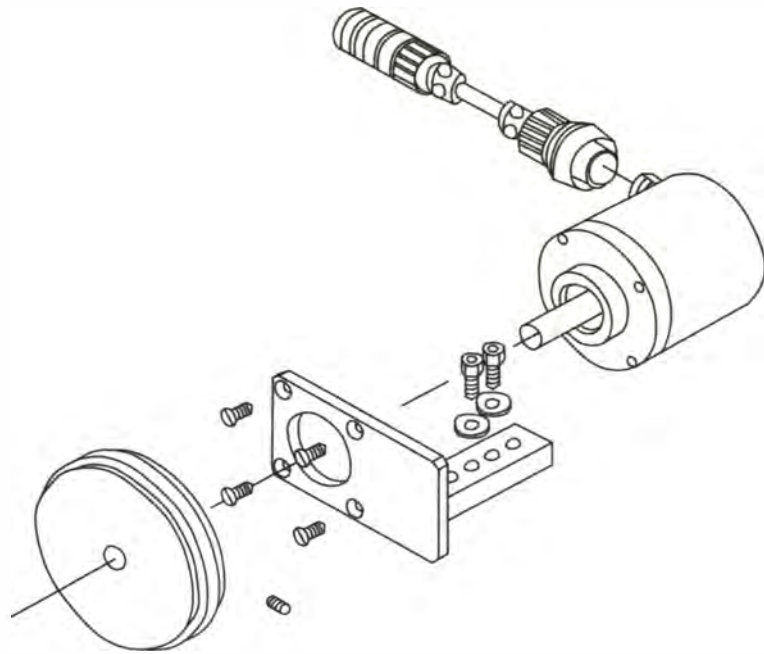


# INTERFAZ REGULADOR

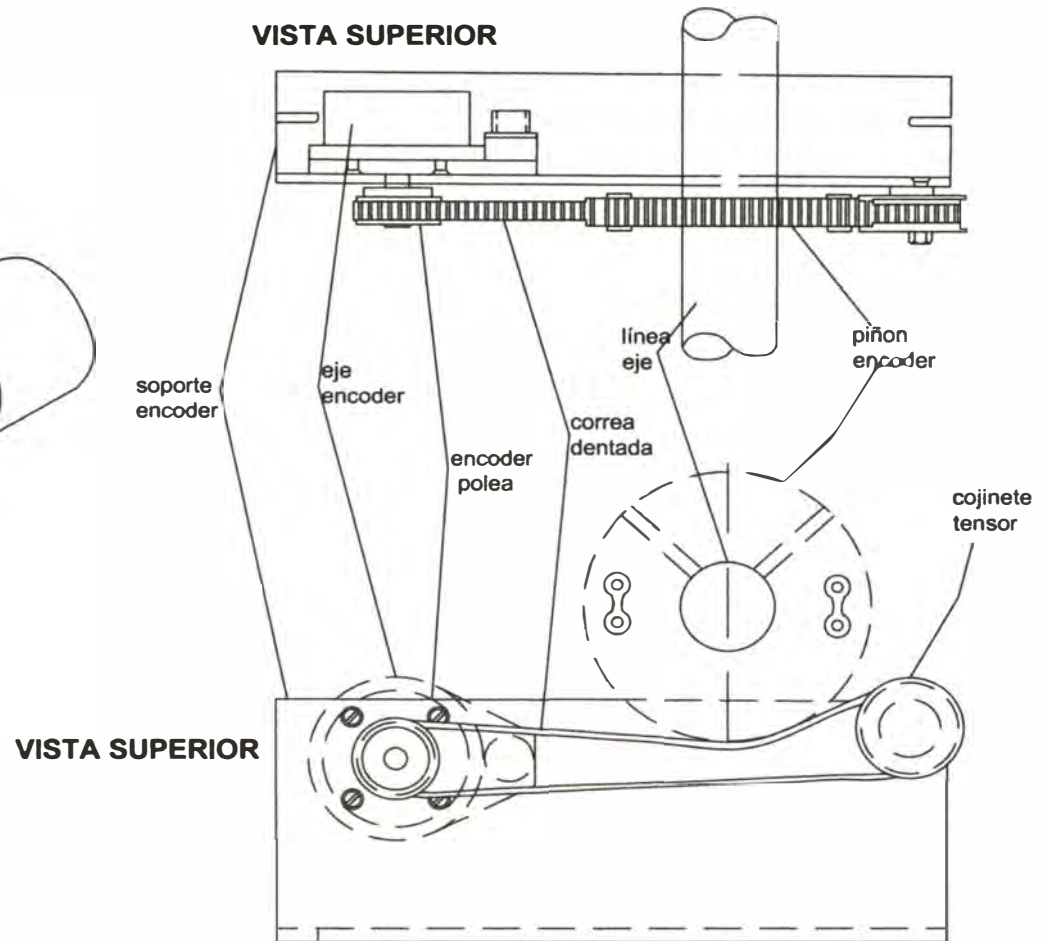


DI SEÑADO	P.E.M		DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S			APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA				REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			INTERFAZ REGULADOR	ESC: S/E	5.4
				FECHA: 24/08/14	

# CONJUNTOS ENCODER

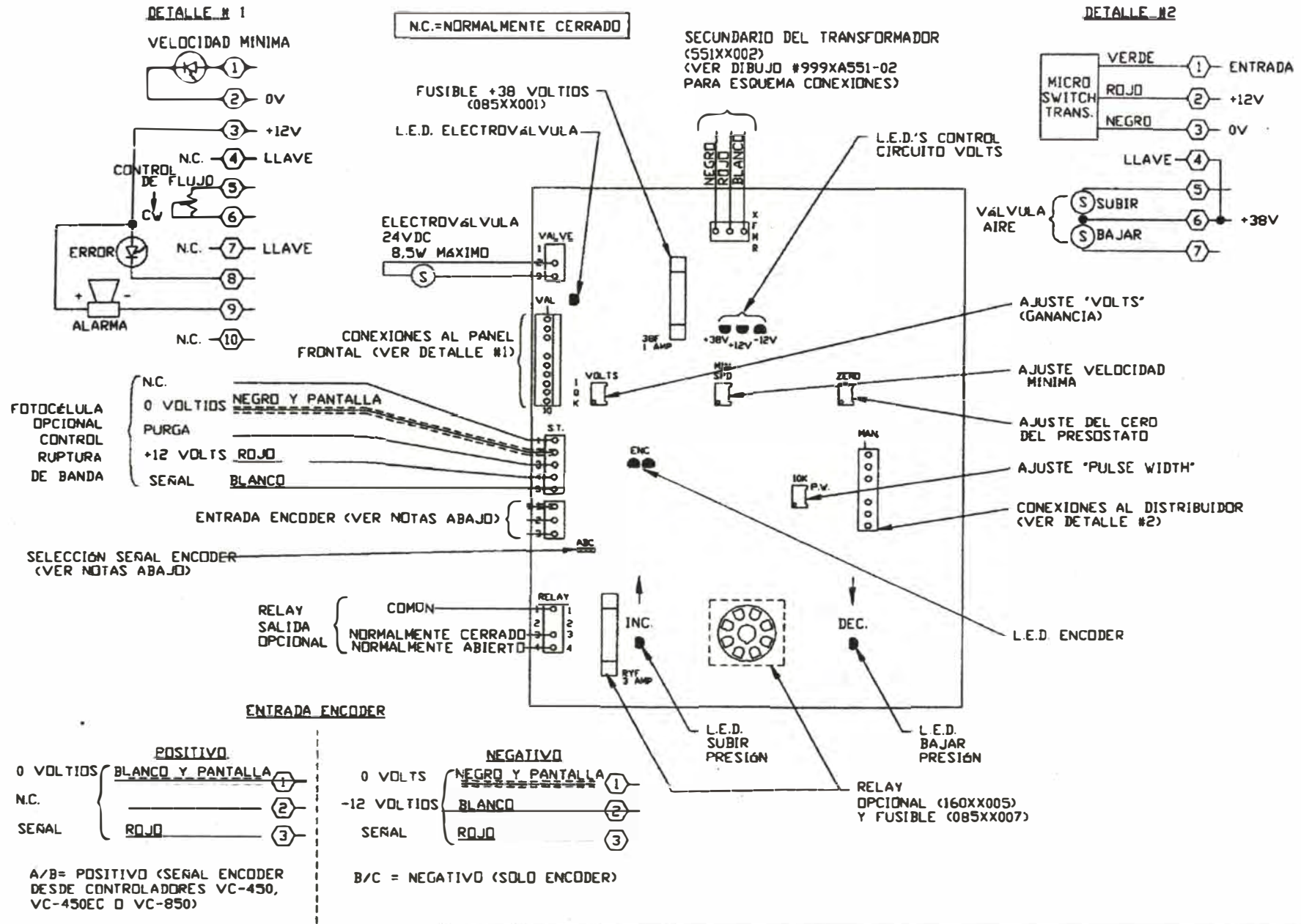


**CONJUNTO ENCODER CON RUEDA**

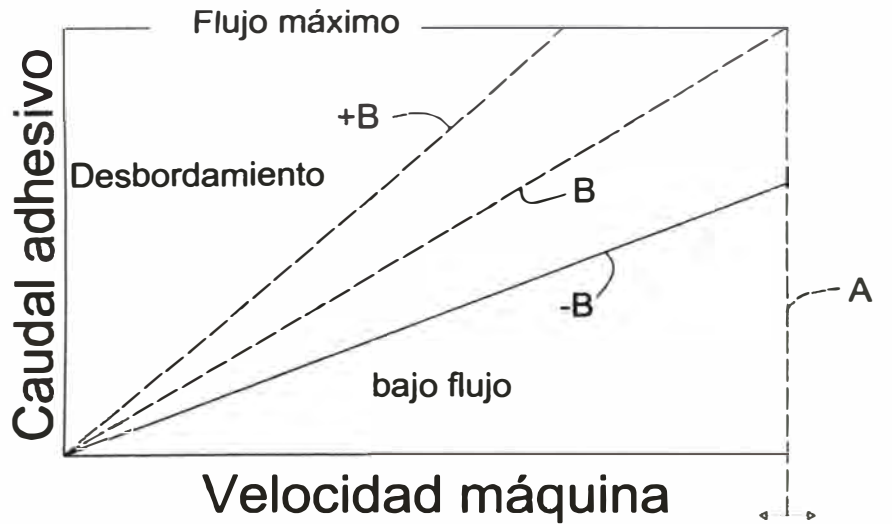


**CONJUNTO ENCODER CON POLEA PARTIDA Y PIÑON**

DISEÑO	P.E.M		DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S			APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA				REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA			CONJUNTOS DE ENCODER	ESC: S/E	5.5
				FECHA: 24/08/14	



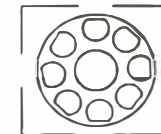
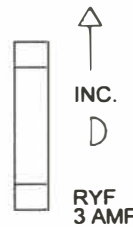
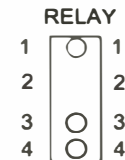
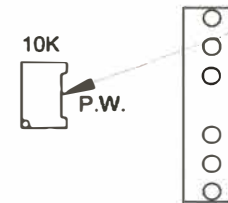
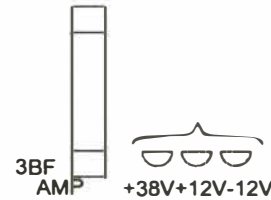
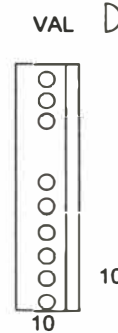
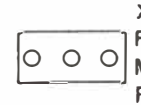
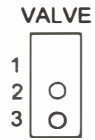
DISEÑADO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		CONEXIONES	REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			ESC: S/E	5.6
			FECHA: 24/08/14	



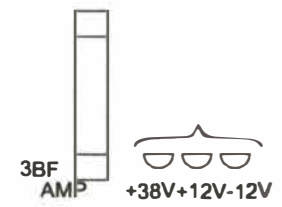
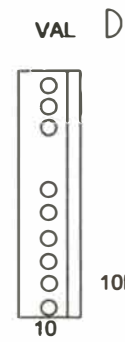
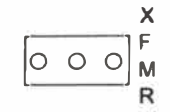
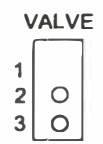
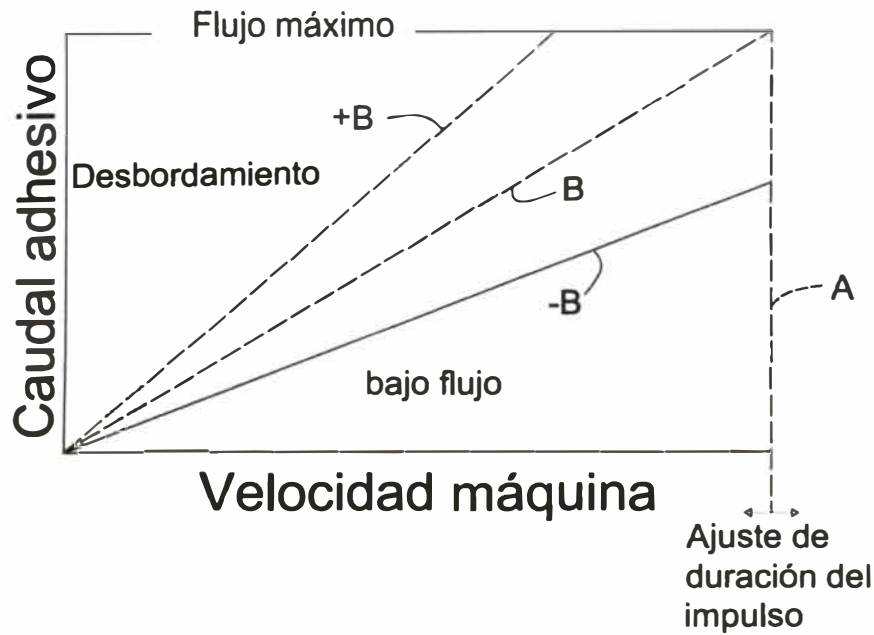
Ajuste de duración del impulso

Ajuste de ganancia (Volts)

Ajuste de la duración del impulso

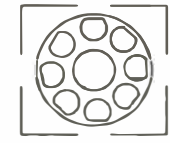
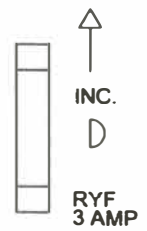
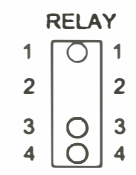
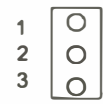
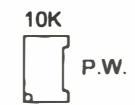


DISEÑO	P.E.M		DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S			APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA				REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA			AJUSTE DE DURACIÓN DE IMPULSO	ESC: S/E	5.7
				FECHA: 24/08/14	

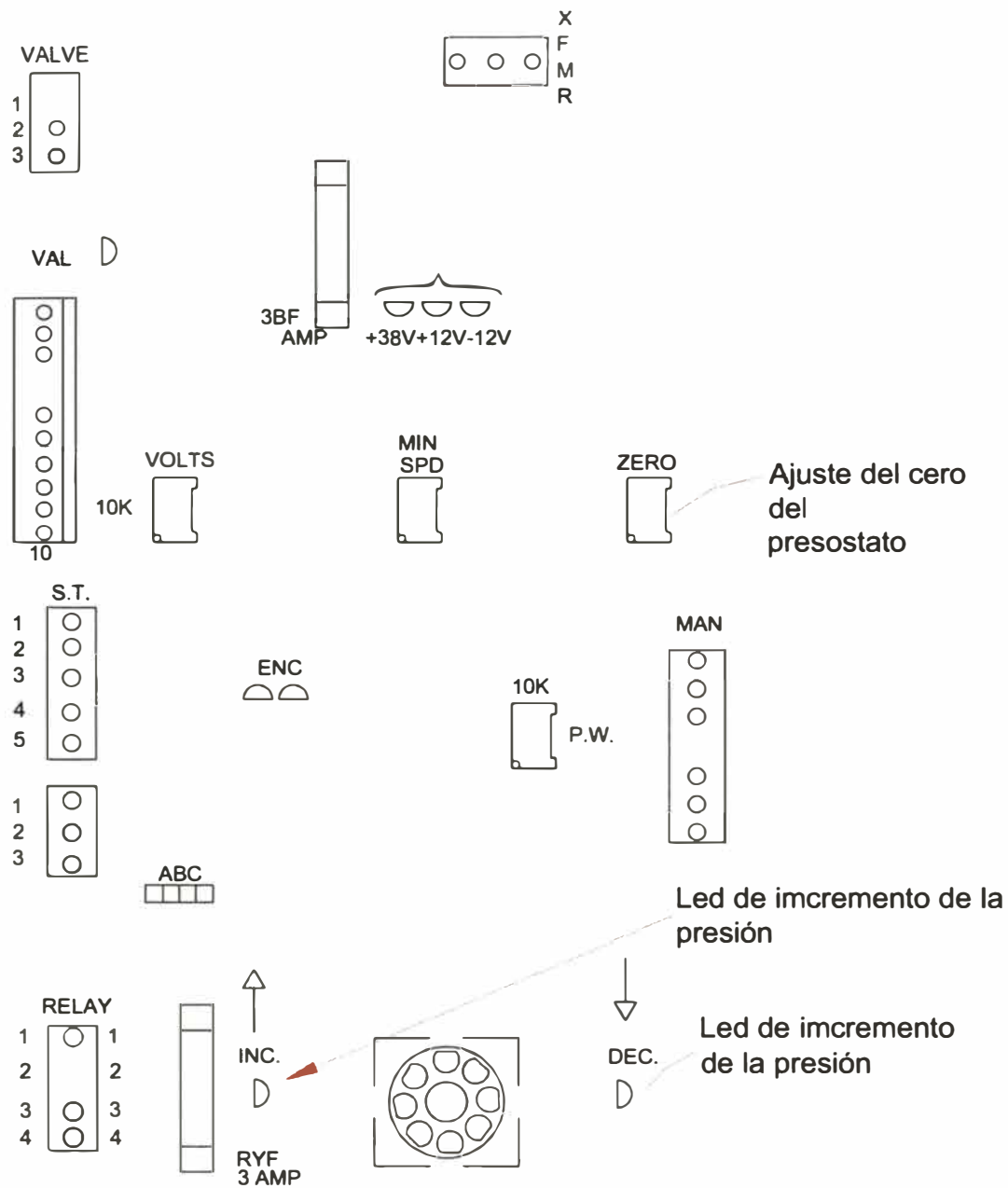


Ajuste de ganancia(Volts)

Ajuste de velocidad minina.

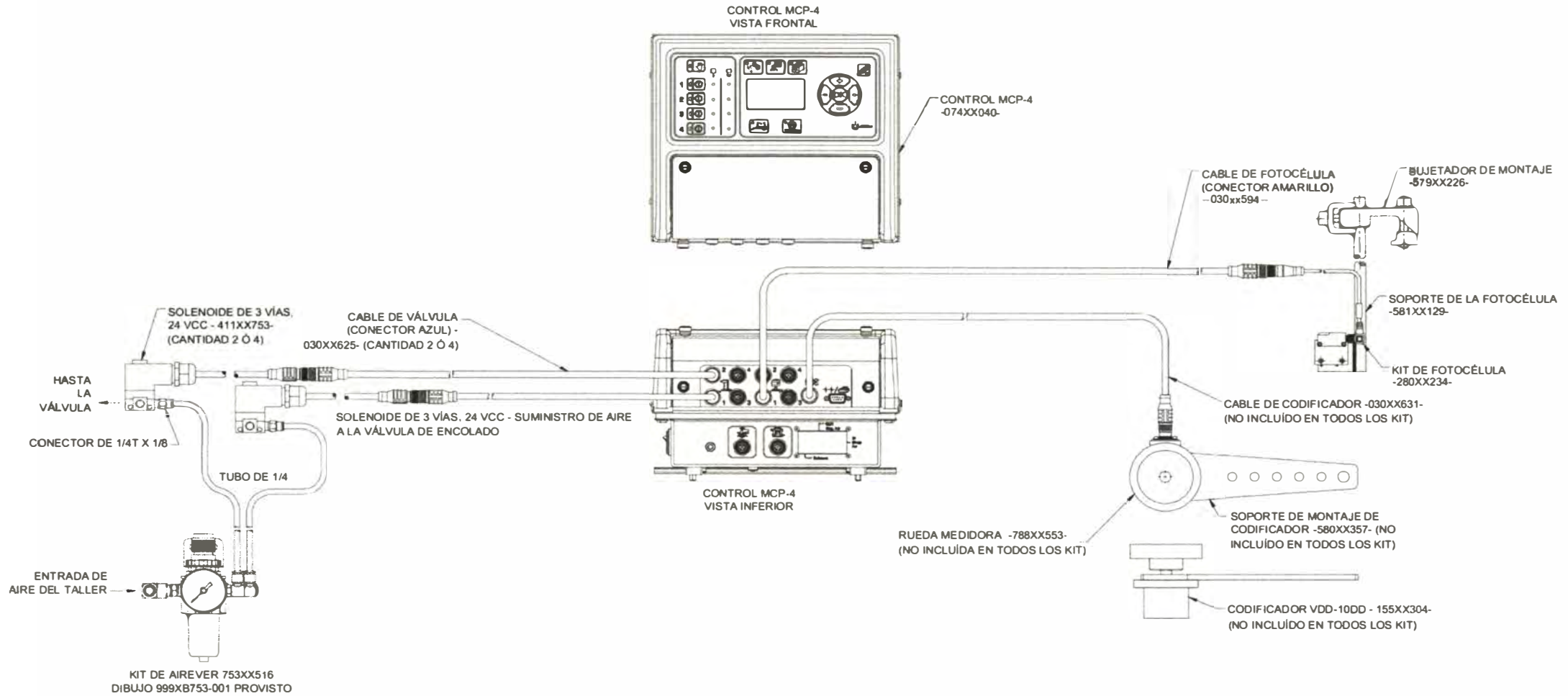


DISEÑADO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		AJUSTE DE GANANCIA DE VOLTS	REV:	LAMINA N°
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA			ESC: S/E	5.8
			FECHA: 24/08/14	



DISEÑADO	P.E.M		DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S			APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA				REV:	LAMINA N°
			AJUSTE DEL CERO DEL PRESOSTATO	ESC: S/E	5.9
				FECHA: 24/08/14	

# LAYOUT DEL SISTEMA DE GOMA CON CONTROLADOR AUTOMATICO MCP - 4F



DISEÑADO	P.E.M	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE UN BOBINADOR Y DESBOBINADOR DE PAPEL	REVISADO:	P.E.M
DIBUJO	G.A.R.S		APROBADO:	P.E.M
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		LAYOUT DEL SISTEMA DE GOMA CON CONTROLADOR AUTOMATICO MCP - 4F	REV:	LAMINA N° 5.10
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA			ESC: S/E	
			FECHA: 24/08/14	

**ANEXO D**

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL ANÁLISIS DE COSTOS**

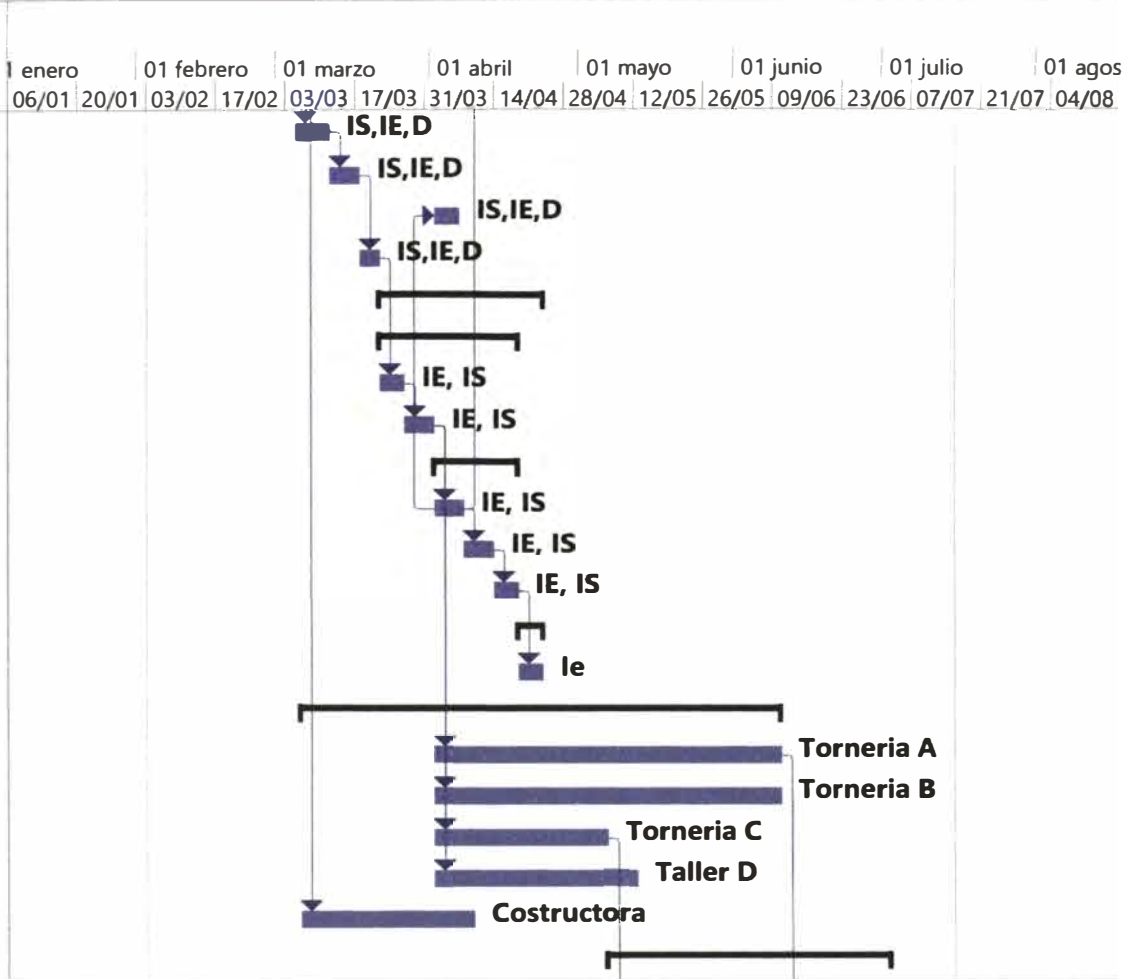


Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Gantt Chart Timeline											
				06/01	20/01	03/02	17/02	03/03	17/03	31/03	14/04	28/04	12/05	26/05	09/06
0		<b>Proyecto Gemeladora</b>	<b>139</b>	[Gantt bar from 06/01 to 07/07]											
1		<b>PROYECTO DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y</b>	1 día?	[Gantt bar from 06/01 to 06/01]											
2		<b>1.1 Elaboración de la Ingeniería</b>	<b>81 días</b>	[Gantt bar from 06/01 to 05/07]											
3		<b>1.1.1 Diseño e ingeniería</b>	<b>21 días</b>	[Gantt bar from 06/01 to 02/02]											
4		1.1.1.1.Revisiones de normas técnicas	4 días	[Task bar from 06/01 to 10/01]											
5		1.1.1.2 Análisis del control	7 días	[Task bar from 10/01 to 17/01]											
6		1.1.1.3 Cálculo de control	10 días	[Task bar from 17/01 to 27/01]											
7		<b>1.1.2 Diseño de planos</b>	<b>60 días</b>	[Gantt bar from 06/01 to 05/03]											
8		<b>1.1.2.1 Planos de arreglo general</b>	<b>15 días</b>	[Gantt bar from 06/01 to 21/01]											
9		Planos de iluminación	6 días	[Task bar from 06/01 to 12/01]											
10		Planos neumáticos	5 días	[Task bar from 12/01 to 17/01]											
11		Planos de seguridad	4 días	[Task bar from 17/01 to 21/01]											
12		Planos de cimentación	6 días	[Task bar from 21/01 to 27/01]											
13		<b>1.1.2.2 Planos de detalle</b>	<b>45 días</b>	[Gantt bar from 06/01 to 01/03]											
14		Planos de elementos de skaivers	10 días	[Task bar from 06/01 to 16/01]											
15		Planos de los polines de trasmision	5 días	[Task bar from 16/01 to 21/01]											
16		Planos de sistema eléctrico	15 días	[Task bar from 21/01 to 06/02]											
17		Planos de tableros eléctricos	15 días	[Task bar from 06/02 to 21/02]											
18		Planos de equipos de control a instalar	3 días	[Task bar from 21/02 to 24/02]											
19		<b>1.1.2.3 Planos de montaje</b>	<b>33 días</b>	[Gantt bar from 06/01 to 08/03]											
20		Planos de sistema de guidores	5 días	[Task bar from 06/01 to 11/01]											

Proyecto: Proyecto Gemeladora  
Fecha: lun 08/12/14

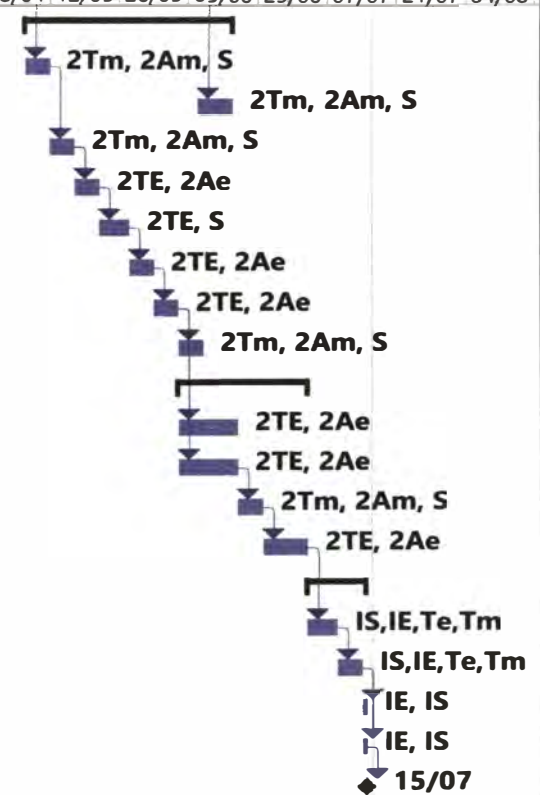
Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	enero	01 febrero	01 marzo	01 abril	01 mayo	01 junio	01 julio	01 agosto				
				06/01	20/01	03/02	17/02	03/03	17/03	31/03	14/04	28/04	12/05	26/05	09/06
21		Planos de la planta propuesta	6 días												
22		Planos de las estructuras de maquinas	5 días												
23		Planos de montaje de equipos de control	4 días												
24		Revision final de diseños y planos.	4 días												
25		<b>1.2 Adquisiciones de materiales y equipos</b>	<b>28 días</b>												
26		<b>1.2.1 Planeamiento logístico</b>	<b>24 días</b>												
27		1.2.1.1 Lista de proveedores	4 días												
28		1.2.1.2 Lista de materiales	5 días												
29		<b>1.2.1.3 Lista de equipos</b>	<b>15 días</b>												
30		1.2.1.3.1 Alineadores de papel	5 días												
31		1.2.1.3.2 Controladores de aplicación goma	5 días												
32		1.2.1.3.3 Control de velocidad (variador)	5 días												
33		<b>1.2.2 Adquisiciones</b>	<b>4 días</b>												
34		1.2.2.1 Ordenes de compra y de servicios	4 días												
35		<b>1.3 Fabricaciones</b>	<b>83 días</b>												
36		1.3.1 Fabricaciones de polines de trasmisión mecánica	60 días												
37		1.3.2 Fabricaciones de Skaivers	60 días												
38		1.3.3 Fabricaciones de estructuras de máquina	30 días												
39		1.3.4 Fabricaciones de tableros eléctricos	35 días												
40		1.3.5 Fabricaciones de base de cimentación	30 días												
41		<b>1.4 Montajes e instalaciones</b>	<b>49 días</b>												



Proyecto: Proyecto Gemeladora Fecha: lun 08/12/14	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas
	División		Tarea manual		Hito externo
	Hito		solo duración		Fecha límite
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual
	Tarea inactiva		solo el comienzo		
	Hito inactivo		solo fin		

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	01 enero	01 febrero	01 marzo	01 abril	01 mayo	01 junio	01 julio	01 agosto				
				06/01	20/01	03/02	17/02	03/03	17/03	31/03	14/04	28/04	12/05	26/05	09/06
42		<b>1.4.1 Montajes</b>	<b>36 días</b>												
43		1.4.1.1 Montaje de estructuras de maquina	4 días												
44		1.4.1.2 Montajes de polines y angulos de	6 días												
45		1.4.1.3 Montajes de pasadizos y barandas de	5 días												
46		1.4.1.4 Montaje de mesas de proceso	4 días												
47		1.4.1.5 Montaje de tableros eléctricos	5 días												
48		1.4.1.6 Montaje de sistema alineador de papel.	4 días												
49		1.4.1.7 Mntaje de sistemas de controlador de goma	5 días												
50		1.4.1.8 Montaje de skaivers	4 días												
51		<b>1.4.2 Instalaciones</b>	<b>22 días</b>												
52		1.4.2.1 Instalaciones eléctricas	10 días												
53		1.4.2.2 Instalaciones neumáticas	10 días												
54		1.4.2.3 Instalaciones de Skaivers	4 días												
55		1.4.2.4 Instalaciones de iluminación	8 días												
56		<b>1.5 Pruebas</b>	<b>10 días</b>												
57		1.5.1 Pruebas preliminares de funcionamiento	5 días												
58		1.5.2 Pruebas en conjunto de funcionamiento	4 días												
59		1.5.3 Informe del Poryecto	1 día												
60		1.5.4 Acta de conformidad	1 día												
61		<b>Cierre del proyecto</b>	<b>0 días</b>												



<b>Proyecto: Proyecto Gemeladora</b> Fecha: lun 08/12/14	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Id	Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de material	Iniciales	Grupo
1	Tecnico Electronico	Trabajo		Te	
2	Tecnico Mecáico	Trabajo		Tm	
3	Ing.Spervisor	Trabajo		IS	
4	Ing. Electrónico	Trabajo		IE	
5	Dibujante proyectista	Trabajo		D	
6	Soldador	Trabajo		S	
7	Ayudante electrico	Trabajo		Ae	
8	Ayudante Mecánico	Trabajo		Am	
9	Talleres	Trabajo		T	
10	Torneria A	Trabajo		T	
11	Torneria B	Trabajo		T	
12	Torneria C	Trabajo		T	
13	Taller D	Trabajo		T	
14	Costructora	Trabajo		C	

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Carlos Odériz Santos, escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, titulación: ingeniero industrial, título del proyecto: estudio de seguridad bobinadora IHT, Pamplona Julio 2011.
- [2] Documento de la General Electric  
Industrial Control System, capítulo 2 Winder Systems, USA Abril 2010
- [3] Documento elaborado por José Vuelvas, Jonatan Urrego y Freddy Ruiz, Departamento de Electrónica de la Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá Colombia, 2012
- [4] Documento elaborado por Zhijum Liu, de Rockwell Automation, 6400 West Enterprise Dr. Mequon, WI 53092 USA, 1999
- [5] Manual Valco de controlador proporcional de flujo EPC-12P, N° del manual: MC010S, Fecha de publicación: Agosto 1998
- [6] VALCO CINCINNATI, Unidad de control MCP-4, Número del manual: MC075-S Fecha de publicación: 2/2008, Version de software: C007, VALCO CINCINNATI
- [7] Manual en CD, Alienator MAXCESS FIFE, Customer and General, Maintenance Manuals
- [8] Manual en CD DELTA C2000, Classical Field Oriented, Control AC Motor Drive

REFERENCIAS DEL DOCUMENTO CALCULO MULTIVARIABLE DE SISTEMA  
BOBINADOR DE PAPEL

Documento elaborado por José Vuelvas, Jonatan Urrego y Freddy Ruiz, Departamento de  
Electrónica de la Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá Colombia

- [1] N.R. Abjadi, J. Soltani, J. Askari, and G.R.A Markadeh. Nonlinear sliding-mode control of am multi-motor web-winding system without tension sensor. *Control Theory y Applications, IET*, 3(4): 419-427, 2009.
- [2] Brian D. O. Anderson and John B. Moore. *Optimal filtering*. Prentice-Hall Information and System Sciences Series. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1979.
- [3] T. Bastogne, H. Noura, P. Sibille, and A. Richard. Multivariable identification of a winding process by subspace methods for tension control. *Control Engineering Practica*, 6(9): 1077-1088, 1998.
- [4] A. Benlatreche, D. Knittel, and E. Ostertag. Robust decentralised control strategies for large-scale web handling system. *Control Engineering Practice*, 16(6): 736- 750, 2008.
- [5] C.L. Chen. K.M. Chang, and C.M. Chang. Modeling and control of a web-fed machine. *Applied Mathematical Modelling*, 28(10): 863-879, 2004.
- [6] H. Garnier, M. Gilson, PC Young, and E. Huselstein. An optimal IV technique for identifying continuous-time transfer function model of multiple input systems. *Control engineering practice*, 15(4): 471-486, 2007.
- [7] Z. Liu. Dynamic analysis of center-driven web winder controls. In *industry Applications Conference, 1999. Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999 IEEE*, volume 2, pages 1388-1396. IEEE, 1999.
- [8] L. Ljung and E.J. Ljung. *System identification: theory for the user*, volume 11. Prentice-Hall Upper Saddle River. NJ, 1987.
- [9] A.F. Lynch and S.A. Bortoff. Nonlinear tension observers for web machines. *Automática*, 40(9): 1517-1524, 2004.
- [10] H. Noura and T. Bastogne. Tension optimal control of a multivariable winding process. In *American Control Conference, 1997. Proceedings of the 1997*, volume 4, pages 2499-2503. IEEE, 1997.
- [11] F. Ruiz. *New Approaches to Optimal Filter Design*. PhD thesis, Politécnico di Torino, Turin, Italy, 2009.
- [12] F. Ruiz. C. Novara, and M. Milanese. Direct design from data of optimal filters for lpv systems. *Systems and Control Letters*, 59: 1-8, 2009.
- [13] Y. Xu. Modeling and lpv control of web winding system with sinusoidal tension disturbance. In *Control and Decision Conference, 2009. CCDC' 09. Chinese*, pages 3815-3820. IEEE, 2009.
- [14] Y. Xu, D. Wang, and Q. Zhang. Modeling and robust control of web winding system with sinusoidal tension disturbance. In *Mechatronics and Automation, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on*, pages 1958-1963. IEEE 2006.

REFERENCIA DEL DOCUMENTO ANALISIS DINAMICOS PARA CONTROLES CON  
ACCIONAMIENTO EN CENTRO DE BOBINADOR DE PAPEL

Zhijun Liu  
Rockwell Automation  
6400 West Enterprise Dr.  
Mequon, WI 53092 USA

References

- [1] Duuzinski, M.S., "Understanding Center-Driven Web Winders," Power Transmission Design, April 1995.
- [2] Veres, R.P. and Newton, J.O., "Control Techniques for Film and Fabric Winders," IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 1A-8, No.3., May/June, 1972.
- [3] Boulter, B.T. and Fox, H.W., "Advanced Dynamic Simulation," Rockwell Automation/Realiance Electric Systems Engineering Training Course E 109, 1995.
- [4] Wolfemann, W., "Tension Control of Webs – A Review of the Problems and Solutions in the Present and Future," Proc. 3th IWHC Int. Web Handling Conf., Oklahoma State University, June 1995
- [5] Walton, B. and Rice, B.S., "Web Longitudinal Dynamics," Proc 4th IWHC Int. Web Handling Conf., Oklahoma State University, June 1997.
- [6] Ebler, N.A., Arnason R., Michaelis, G., and D' Sa, N., "Tension Control: Dancer Rolls or Load Cells," IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 29, No. 4., July/Aug., 1993.
- [7] Boulter, B.T., "The Effect of Speed Loop Bandwidths and Line-Speed on Systems," Proc. Of 4th IWHC Int. Web Handling Conf., Oklahoma State University, June 1997,
- [8] Boulter, B.T. and Gao, Z., "A Real-Time Systems, No. 11,265-287, 1996.
- [9] Boulter, B.T., "Improving Bridle Low-Speed Regulation by Implementing Cascaded Current Major Loops in Helper Rolls," 1997 AISE Annual Convention.
- [10] Young, G.E., and Reid, K.N., "Lateral and Longitudinal Dynamic Behavior and Control of Moving Webs," Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 115, pp. 309-317, June 1993.