



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

PROYECTO DE GRADO PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN INSTRUMENTACIÓN

**“AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA MULTIDRIVES PARA EL CONTROL DE
TENSADO DE HOJA EN LA MÁQUINA REBOBINADORA
JAGENBERG-REWINDER DE LA EMPRESA ‘PRODUCTOS
FAMILIA SANCELA DEL ECUADOR’ ”**

LOMA SINCHIGUANO FRANKLIN GERARDO

PANCHI MASAPANTA HÉCTOR ABEL

LATACUNGA – ECUADOR

ABRIL 2006

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por los señores LOMA SINCHIGUANO FRANKLIN GERARDO y PANCHI MASAPANTA HÉCTOR ABEL, previo a la obtención de su título de Ingeniero Electrónico en Instrumentación.

Latacunga, abril del 2006

Ing. Marcelo Silva

DIRECTOR

Ing. Washington Freire

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos a la Empresa Productos “Familia Sancela del Ecuador” en especial al Ingeniero Ángel Cárdenas porque con la apertura brindada ha hecho posible que este trabajo sea realizado de la mejor manera en beneficio mutuo.

También manifestamos nuestra gratitud hacia todos nuestros profesores y demás personas que colaboraron en forma directa o indirecta para la culminación de este trabajo.

Franklin Gerardo

Héctor Abel

DEDICATORIA

A mi Dios ya que me ha permitido disfrutar de todos mis triunfos que hasta ahora he alcanzado.

A toda mi querida familia, de manera muy especial a mis padres Gerardo Loma y Matilde Sinchiguano por haberme apoyado de manera incondicional económica y espiritualmente para poder alcanzar el triunfo estudiantil. También a mi hermano Fabián que con su aliento de motivación logró que no desmayara durante mi carrera estudiantil.

A mi amada esposa Wilma Quimbita por brindarme toda su confianza y amor para alcanzar con éxitos este título profesional.

Franklin Gerardo

A Dios por concederme el maravilloso don de la vida.

A mis queridos Padres, Adolfo y Teresa que con su constante abnegación y paciencia saben guiarme en el camino de la vida, para ser un hombre de bien y útil a la sociedad.

A mis Hermanos, Alicia, Olivia, Eva, Milton, Adán y Edwin por todo el apoyo brindado durante el transcurso de mi vida.

A ellos dedico este trabajo fruto de mi sacrificio y esfuerzo constante.

Héctor Abel

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1. Descripción del Proceso	1
1.2. Características, especificaciones y funcionamiento de la máquina RW5	2
1.2.1. Características generales	2
1.2.2. Especificaciones de potencia, técnicas y ambientales de la RW5	3
1.2.3. Detalles de funcionamiento de la RW5	5
1.3. Automatización Industrial	6
1.3.1. Introducción	6
1.3.2. Tipos de automatización Industrial	7
1.4. Autómatas Programables (PLC's)	8
1.4.1. Definición de autómata programable	8
1.4.2. Origen e Historia de los autómatas programables	9
1.4.3. Campos de aplicación de los PLC's	10
1.4.4. Ventajas e inconvenientes de los autómatas programables	11
1.4.5. Estructura externa de los PLC's	11
1.4.6. Arquitectura básica los PLC's	12
1.5. Motores de Corriente Continua	16
1.5.1. Partes básicas de un motor de corriente continua	17
1.5.2. Clases de motores de corriente continua	19
1.5.2.1. Motores de corriente continua de imán permanente	20
1.5.2.1.1. Motores de corriente continua sin escobillas	20
1.5.2.1.2. Servomotores de corriente directa	21
1.5.2.2. Motores de corriente continua con campo devanado	22
1.5.2.2.1. Motores en derivación	22
1.5.2.2.2. Motores devanado en serie	25

1.5.2.2.3. Motores compound	25
1.5.3. Aplicaciones de los motores de corriente continua	26
1.6. Variadores de velocidad de Corriente continua	27
1.7. Controladores PID	31
1.7.1. Parámetros del regulador PID	32
1.7.2. Precisión estática de un control en lazo cerrado	33
1.7.3. Precisión estática con perturbaciones	34
1.7.4. Sensibilidad de un proceso	36
1.7.5. Orientaciones para el uso del regulador PID	37
1.7.6. Sintonía de parámetros del regulador PID	38
1.7.7. Sintonía de parámetros en lazo abierto	39
1.7.8. Criterios de funcionamiento para sintonía en lazo abierto	40
1.7.9. Sintonía de parámetros en lazo cerrado	42
1.8. Interfaces HMI	43
1.9. Comunicaciones Industriales	44
1.9.1. Introducción a redes de campo	44
1.9.2. Tipos de bus I/O en redes	45
1.9.3. Protocolos de los buses y redes de campo industriales	46
1.9.4. Profibus	47
1.9.5. Profibus-DP	49
1.9.5.1. Configuración Profibus-DP	49
1.9.5.2. Capa física de Profibus	50
1.9.5.3. Componentes disponibles para Profibus	50
1.9.5.4. Cables para Profibus	50
1.9.5.5. Cable de conexión Profibus	51
1.10. Actuadores	52
1.10.1. Actuadores neumáticos	53
1.10.2. Actuadores eléctricos	56

CAPITULO II ANALISIS Y DISEÑO

2.1. Diagrama de bloques del sistema	59
2.2. Especificación de requisitos del sistema	60
2.3. Selección de componentes	63
2.3.1. Selección de motores eléctricos	63
2.3.1.1. Motor de la bobina madre (RW5-M01)	64
2.3.1.2. Motor de la bobina 1 (RW5-M02)	64
2.3.1.3. Motor de la bobina 2 (RW5-M03)	65
2.3.1.4. Motor del rodillo calander (RW5-M04)	65
2.3.1.5. Motor ventilador del motor de la bobina madre (RW5-M05)	65
2.3.1.6. Motor ventilador del motor de la bobina 1 (RW5-M06)	66
2.3.1.7. Motor ventilador del motor de la bobina 2 (RW5-M07)	66
2.3.1.8. Motor ventilador del motor del rodillo calander (RW5-M08)	66
2.3.1.9. Motor centrador de hoja de la bobina 1(RW5-M09)	67
2.3.1.10. Motor centrador de hoja de la bobina 2(RW5-M10)	67
2.3.2. Selección de sensores	67
2.3.2.1. Sensores fotoeléctricos	69
2.3.2.2. Botoneras y parada de emergencia	70
2.3.2.3. Finales de carrera	71
2.3.2.4. Presóstatos	72
2.3.3. Selección de variadores de velocidad	73
2.3.4. Selección de contactores y guardamotores	75
2.3.5. Selección de indicadores de panel	77
2.4. Diseño, Configuración y puesta en marcha del PLC	78
2.4.1. Diseño de la CPU	79
2.4.2. Diseño de los módulos de entradas discretas	80
2.4.3. Diseño de los módulos de salidas discretas	80
2.4.4. Diseño de la fuente de alimentación del PLC	81
2.5. Programación de los variadores de velocidad	82
2.5.1. Drive del motor de la bobina madre	86
2.5.2. Drive del motor de la bobina 1	87
2.5.3. Drive del motor de la bobina 2	87
2.5.4. Drive del rodillo calander	88

2.6. Diseño de los planos eléctricos	93
2.7. Diseño de la pantalla	94
2.8. Diseño de software de control	95
2.9. Parametrización de los indicadores de panel red lion	96
2.10. Configuración de la interface HMI	99

CAPITULO III RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1. Descripción física del sistema	101
3.1.1. Máquina rebobinadora RW5	103
3.2. Pruebas experimentales	112
3.2.1. Estado de operación de los drive's programables SIMOREG	112
3.2.2. Estado de operación de los motores eléctricos	114
3.2.3. Tiempos muertos	114
3.2.4. Velocidad y visualización de la máquina	116
3.2.5. Operación de las protecciones	118
3.2.6. Ensayo de fallas	119
3.3. Costo de equipos	121
3.4. Alcances y limitaciones	122

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	123
4.2. Recomendaciones	124

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES	126
-------------------------------	-----

GLOSARIO DE TERMINOS	128
-----------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E

ANEXO F

INTRODUCCIÓN

La Automatización Industrial es un conjunto de técnicas que involucran la aplicación e integración de sistemas mecánicos, eléctricos-electrónicos, unidos con los controladores lógicos programables para operar y controlar diferentes tipos de sistemas industriales de forma autónoma. Es un área en la que confluyen diferentes disciplinas para la solución de problemas industriales. Los problemas de eficiencia, productividad, calidad, decisiones estratégicas y diseño de procesos, tanto en el ámbito de producción y planta como a nivel gerencial, son también problemas de Automatización Industrial.

En la empresa Productos Familia Sancela del Ecuador se da mucha importancia en el mejoramiento de optimización de sus máquinas papeleras. Y el presente proyecto se desarrolló precisamente en la mencionada empresa, teniendo como objetivo puntual, automatizar e implementar un sistema multidrives para el tensado de hoja de papel en la máquina rebobinadora rewinder.

Para el efecto el proyecto se ha dividido en cuatro capítulos, como sigue:

En el Capítulo I se presenta el marco teórico referencial: principios, leyes, definiciones y nomenclatura propia relacionada con la máquina bobinadora rewinder.

En el Capítulo II se detalla el aporte propiamente dicho de los autores, correspondiente a la fase de análisis y diseño, acogida de la teoría de ingeniería de software y que se caracteriza por la evaluación, ajuste y ampliación. La Automatización Industrial en la parte física se diseña a partir de la plataforma del drive Simoreg DC Master, PLC Simatic S7-300 y Simatic HMI OP3 todos de Siemens, que es parte del principio de homologación de tecnología de la empresa.

En el Capítulo III se detallan los resultados obtenidos y las pruebas experimentales a las que fue sometida la máquina para ratificar el óptimo funcionamiento y el grado de satisfacción del cliente.

Finalmente en el Capítulo IV se exponen las conclusiones y recomendaciones recopiladas durante el desarrollo del proyecto, las mismas que podrán aportar con futuros trabajos de la misma índole.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. - DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Las empresas en la actualidad se plantean la automatización de diferentes procesos en su entorno industrial. Con esto se pretende mejorar la productividad, aumentar la calidad del producto final, además incrementar la seguridad en el trabajo. Para conseguir estos objetivos las empresas deben utilizar computadoras personales, controladores lógicos programables, drive's y software especializado de monitoreo, control, adquisición de datos.

Es así que la empresa Familia Sancela del Ecuador con el transcurrir de este avance tecnológico, ha visto la necesidad de optimizar sus máquinas papeleras, motivo por el cual nuestro tema de tesis está enfocado en una de sus principales máquinas, la máquina Rebobinadora Jagemberg-Rewinder 5 (RW5¹).

Tomando en cuenta que en los últimos meses se han presentado varios problemas principalmente con los drives que manejan a los motores de esta máquina debido a que son de tecnología antigua y se han dejado de producir. Por tales motivos, la División de Servicios Especiales y Mantenimiento Eléctrico de la Empresa Productos Familia Sancela del Ecuador S.A., propone la automatización de la máquina de manera prioritaria, misma que los autores del proyecto, consideran de la siguiente manera:

¹ Nombre con el cual se la abrevia a la máquina Jagemberg-Rewinder en planta, el mismo que será utilizado en este documento.

Se requiere realizar un estudio previo de la máquina en su funcionamiento actual con lógica de relés y controladores electrónicos existentes, para reemplazarlos por un sistema automatizado utilizando Controladores Lógicos Programables (PLC's), y la sustitución de los drives instalados por drives programables, previo al análisis técnico-económico, los mismos que deben ser consistentes en la implantación de tecnología estandarizada de la empresa.

1.2. - CARACTERÍSTICAS, ESPECIFICACIONES Y FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA RW5

1.2.1.- Características generales

La máquina en la cual se realizará la automatización, está constituida por una serie de componentes que trabajan en unión y coordinación, y permiten transformar las bobinas de papel tissue provenientes de la máquina papelera MP5.

Se llama papel Tissue a un papel suave y absorbente para uso doméstico y sanitario, que se caracteriza por ser de bajo peso y crepado, es decir, con toda su superficie cubierta de microarrugas, las que le confieren elasticidad, absorción y suavidad. El crepado aumenta la superficie específica del papel y abre las fibras, permitiendo mayor capacidad de absorción y mayor flexibilidad que las de una hoja de papel corriente [1].



Figura 1.1 Bobina de Papel Tissue

La máquina papelera MP5 es la que transforma la pasta en bobinas de papel tissue de alrededor de 2400 mm de ancho y 1676 mm. de diámetro con una producción diaria de 40 toneladas. Estas bobinas son transportadas a la máquina Jagenberg-Rewinder RW5, las mismas que con la ayuda de esta máquina son transformadas en bobinas de doble hoja, hoja simple, y bobinas tipo torta² tanto para exportación como para el consumo interno en el área de conversión³.

Para esto la máquina RW5 dispone de tres drives AC-DC para el manejo de los motores de DC: bobina madre, bobina uno, bobina dos y estando en proceso de montaje un cuarto motor para el rodillo calander⁴. El control de la máquina combina una lógica de relés, contactores, un módulo electrónico y circuitos neumáticos.

La máquina rebobinadora RW5 influye directamente en el proceso del área de molinos 5, paso previo e imprescindible para el ingreso al área de conversión.

1.2.2.- Especificaciones de potencia, técnicas y ambientales de la RW5

Para saber la potencia que requiere la RW5 para su normal trabajo se necesita sumar la potencia de todos y cada uno de los motores que la conforman; entonces, se tendrá la especificación de potencia que está consumiendo esta máquina, respetando las especificaciones técnicas de cada uno de los motores.

A más de estas especificaciones técnicas es fundamental mencionar las especificaciones ambientales. La RW5 está formada por todo ese conjunto de motores que necesitan trabajar a la temperatura especificada por los fabricantes lo que da un rango promedio de 0 °C a 50 °C aproximadamente; definiendo este mismo rango como temperatura de trabajo de la RW5.

² Bobinas de 0.2m de ancho y 1m de diámetro empleadas para producir servilletas.

³ Corresponde físicamente al lugar donde se elabora el producto terminado: papel higiénico y servilletas.

⁴ Sistema de motor y dos rodillos que mejoran la suavidad del papel.

En esta máquina papelera otro parámetro que hay que tomar en cuenta es el abundante desprendimiento de polvillo como resultado directo de la producción de papel lo que se hace imperioso como una especificación ambiental, una constante ventilación y la utilización de mascarillas de protección para la respiración.

De acuerdo con el estudio realizado, como parte de las especificaciones ambientales se debe tomar en cuenta el ruido en esa área específica, lo cual obliga a que los operadores utilicen tapones u orejeras para no sufrir daños auditivos.

Tabla 1.1 Lista de motores de la RW5

ESPECIFICACIÓN DE POTENCIA DE LOS MOTORES DE LA RW5						
N	MARCA	POTENCIA	VELOCIDAD	VOLTAJE	AMPERAJE	USO
ACTUAL		KW	RPM	V	A	
MOTOR						
RW5-M01	BBC	38,2	936	400VDC	109	Motor bobina madre
RW5-M02	BBC	16,3	1016	400VDC	49	Motor bobina 1
RW5-M03	BBC	16,3	1016	400VDC	49	Motor bobina 2
RW5-M04	SIEMENS	170	1740	470VDC	392	Motor Calander
RW5-M05	BBC	0,75	2830	220/380	3,1/1,8	Motor Ventilador del motor bobina
RW5-M06	FILLI FERRAR	0,75	2820	380/220	1,3/2,2	Motor Ventilador del motor bobina 1
RW5-M07	FILLI FERRAR	0,75	2820	380/220	1,3/2,2	Motor Ventilador del motor bobina 2
RW5-M08	SIEMENS	1,75	3460	460	3,35	Motor Ventilador del motor calander
RW5-M09	SEW-EURODRIVE	0,75	1400	220/380	4,05/2,35	Motor centrados de hoja bobina 1
RW5-M10	SEW-EURODRIVE	0,75	1400	220/380	4,05/2,35	Motor centrador de hoja bobina 2
TOTAL		246,3				

1.2.3.- Detalles de funcionamiento de la RW5

El Área de Molinos 5⁵ de la empresa Productos Familia-Sancela del Ecuador S.A., en su línea, cuenta con la Máquina Jagemberg-Rewinder (RW5), de fabricación alemana de la década de los 80.

Por sus características el sistema tiene una alta inercia y requiere de una considerable energía para mantener bajo cualquier condición de carga una excelente regulación de velocidad. Cada accionamiento dispone de un control con motores de DC, los mismos que son manejados por Drives Veritron-BBC, siendo este un sistema muy ineficiente con un alto porcentaje de pérdidas eléctricas.

La justificación radica en lo anteriormente mencionado, además que esta máquina trabaja en conjunto con la máquina papelera MP5, y como se dispone únicamente de seis ejes para el bobinado de papel, si la rebobinadora RW5 deja de funcionar por algún inconveniente automáticamente se corta la producción en la MP5 por falta de ejes, teniendo así pérdidas considerables.

La RW5 es una máquina de rebobinado de bobinas de papel tissue y servilletas, la misma que esta implementada con funciones electromecánicas, manejada principalmente por tres motores eléctricos de corriente continua y un cuarto motor que maneja rodillos los mismos que sirven para mejorar la suavidad del papel.

Los tres principales motores de corriente continua están comandados por drives Veritron-BBC y estos a su vez comandados por un módulo electrónico denominado Movimat.

La velocidad de estos motores esta dada por una referencia común, para poder regular la velocidad de los motores de la bobina uno y dos y de esta manera el templado de la hoja el sistema dispone de módulos templadores las mismas que son referencias adicionales a sus respectivos drives.

⁵ Corresponde físicamente al lugar donde se elabora el producto terminado tissue: papel higiénico y servilletas.

Un conjunto de finales de carrera hace posible el control de seguridades de la máquina, tanto para parar la máquina como para indicación de alarmas en la misma.

El control de la secuencia ha sido implementado a través de lógica de relés electromecánicos, los mismos que por su constante uso han provocado su deterioro principalmente en sus contactos.

1.3.- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL [2]

1.3.1.- Introducción

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imiten las partes del cuerpo humano. Durante los siglos XVII y XVIII en Europa fueron construidos muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots. Estas creaciones mecánicas de forma humana deben considerarse como inversiones aisladas que reflejan el genio de hombres que se anticiparon a su época. Hubo otras invenciones mecánicas durante la revolución industrial, creadas por mentes de igual genio, muchas de las cuales estaban dirigidas al sector de la producción textil. Entre ellas se puede citar la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785), el telar de Jacquard (1801), y otros.

El desarrollo en la tecnología, donde se incluyen las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranes, y la tecnología en sensores han contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria.

Como se ha visto, las tendencias de globalización y segmentación internacional de los mercados son cada vez más acentuadas. Y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una alternativa que es necesario considerar.

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial.

1.3.2.- Tipos de automatización industrial

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna:

- Control Automático de Procesos
- El Procesamiento Electrónico de Datos
- La Automatización Fija
- La Automatización Programada
- La Automatización Flexible.

Se deberá analizar cada una de ellas a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado a utilizarse en la presente tesis.

- **El Control Automático de Procesos.-** se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.
- **El Proceso Electrónico de Datos.-** frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfaces y computadores.
- **La Automatización Fija.-** es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC'S) O Controladores Lógicos Programables.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

- **La automatización programable:** La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a la variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

- **La automatización flexible:** Por su parte la automatización flexible es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre si por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

1.4.- AUTÓMATAS PROGRAMABLES (PLC'S) [3]

1.4.1.- Definición de autómata programable

Se entiende por controlador lógico programable (PLC), o autómata programable, a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

Otra definición de autómata programable sería una «caja» en la que existen, por una parte, unos terminales de entrada (o captadores) a los que se conectan pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detectores...; y por otra, unos terminales de salida (o actuadores) a los que se conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas..., de forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

La función básica de los autómatas programables es la de reducir el trabajo del usuario a realizar el programa, es decir, la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida, puesto que los elementos tradicionales (como relés auxiliares, de enclavamiento, temporizadores, contadores...) son internos.

El autómata programable es un aparato electrónico programable por un usuario programador y destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, maquinas o procesos lógicos secuenciales.

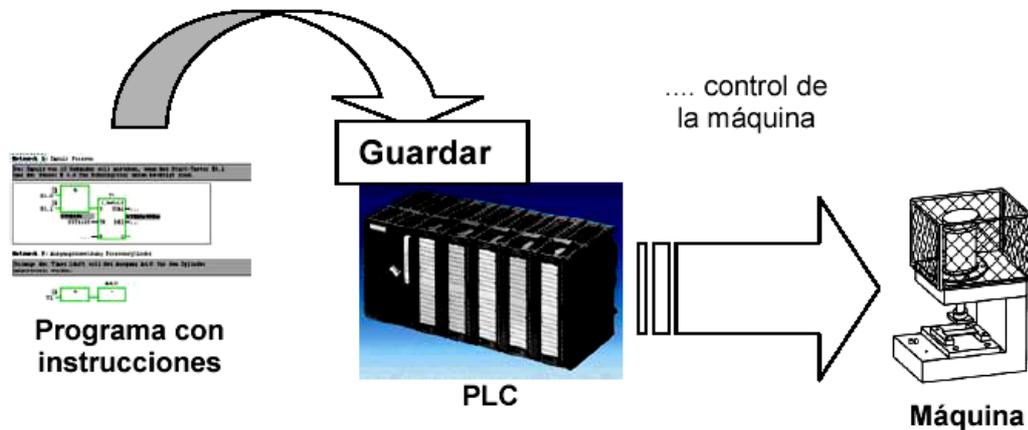


Figura 1.2 Función del PLC

1.4.2.- Origen e historia de los autómatas programables

Los autómatas programables aparecieron en los Estados Unidos de América en los años 1969 - 70, y más particularmente en el sector de la industria del automóvil; fueron empleados en Europa alrededor de dos años más tarde. Su fecha de creación coincide, pues con el comienzo de la era del microprocesador y con la generación de la lógica cableada modular.

El autómata es la primera máquina con lenguaje, es decir, un calculador lógico cuyo juego de instrucciones se orienta hacia los sistemas de evolución secuencial. Hay que apreciar que, cada vez más, la universalidad de los ordenadores tiende a desaparecer, el futuro parece abrirse hacia esta nueva clase de dispositivos: máquina para proceso de señales, para la gestión de bases de datos.

La creciente difusión de aplicaciones de la electrónica, la fantástica disminución del precio de los componentes, el nacimiento y el desarrollo de los microprocesadores y, sobretodo, la miniaturización de los circuitos de memoria permiten presagiar una introducción de los autómatas programables, cuyo precio es atractivo incluso para equipos de prestaciones modestas, en una inmensa gama de nuevos campos de aplicación.

El autómata programable satisface las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales así como todas las funciones asociadas de temporización, sincronización, conteo y lógica. También incluye una tarjeta de comunicación adicional, el autómata se transforma en un poderoso satélite dentro de una red de control distribuida.

1.4.3.- Campos de aplicación de los PLC'S

Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

1.4.4.- Ventajas e inconvenientes de los autómatas programables

Entre las principales ventajas tenemos:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Y entre los inconvenientes tenemos:

- Adiestramiento de técnicos.
- Costo.

En la actualidad los inconvenientes se han hecho nulos, ya que todas las carreras de ingeniería incluyen la automatización como una de sus asignaturas. En cuanto al costo tampoco hay problema, ya que hay autómatas para todas las necesidades y a precios ajustados.

1.4.5.-Estructura externa de los PLC'S

Todos los autómatas programables, poseen una de las siguientes estructuras:

- Compacta: en un solo bloque están todos los elementos.
- Modular puede ser de dos tipos:
 - Estructura americana: separa las E/S del resto del autómata.
 - Estructura europea: cada módulo es una función (fuente de alimentación, CPU, E/S, etc.).

Exteriormente nos encontraremos con cajas que contienen una de estas estructuras, las cuales poseen indicadores y conectores en función del modelo y fabricante. Para el caso de una estructura modular se dispone de la posibilidad de fijar los distintos módulos en bastidores normalizados, para que el conjunto sea compacto y resistente.

1.4.6.- Arquitectura básica de los PLC'S

Los elementos esenciales, que todo autómata programable posee como mínimo, son:

- **Unidad Central de Proceso (CPU):** se encarga de procesar el programa de usuario que le introduciremos. Para ello disponemos de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa. Adicionalmente, en determinados modelos más avanzados, podemos disponer de funciones ya integradas en la CPU; como reguladores PID, control de posición, etc. Podemos considerar que la CPU toma, una a una, las instrucciones programadas por el usuario y las va ejecutando. Cuando llega al final de la secuencia de instrucciones programadas, la CPU vuelve al principio y sigue ejecutándolas de manera cíclica.
- **Fuente de alimentación:** Es la encargada de convertir la tensión de la red, 220v corriente alterna, a baja tensión de corriente continua, normalmente a 24v. Siendo esta la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el Autómata.
- **La memoria:** Dentro de la CPU vamos a disponer de un área de memoria, la cual emplearemos para diversas funciones:
 - Memoria del programa de usuario: aquí introduciremos el programa que el autómata va a ejecutar cíclicamente.
 - Memoria de la tabla de datos: se suele subdividir en zonas según el tipo de datos (como marcas de memoria, temporizadores, contadores, etc.).

- Memoria del sistema: aquí se encuentra el programa en código máquina que monitoriza el sistema (programa del sistema o firmware). Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador/microcontrolador que posea el autómata.
- Memoria de almacenamiento: se trata de memoria externa que empleamos para almacenar el programa de usuario, y en ciertos casos parte de la memoria de la tabla de datos. Suele ser de uno de los siguientes tipos: EPROM, EEPROM, o FLASH.

Cada autómata divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante.

- **Entrada / Salidas:** Generalmente vamos a disponer de dos tipos de E/S:
 - Digital.
 - Analógica.

Las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir no conducen señal alguna o poseen un nivel mínimo de tensión. Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario.

Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante. Se basan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU (óptimamente o por etapa de potencia). Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (8/16 bits) dentro del programa de usuario.

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

Todas las salidas del PLC deben protegerse contra las sobretensiones que aparecen sobre ellas, principalmente en el momento del apagado de las cargas a las que están conectadas.

- **Interfaces:** Todo autómata, salvo casos excepcionales, posee la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos (como con una PC o con otro PLC).

Lo normal es que posea una Interface E/S serie del tipo RS-232 / RS-422. A través de esta línea se pueden manejar todas las características internas del autómata, incluida la programación del mismo, y suele emplearse para monitorización del proceso en otro lugar separado.

- **Equipos o unidades de programación:** El autómata debe disponer de alguna forma de programación, la cual se suele realizar empleando alguno de los siguientes elementos:
 - Unidad de programación: suele ser en forma de calculadora. Es la forma más simple de programar el autómata, y se suele reservar para pequeñas modificaciones del programa o la lectura de datos en el lugar de colocación del autómata.
 - Consola de programación: es un Terminal a modo de ordenador que proporciona una forma más cómoda de realizar el programa de usuario y observar parámetros internos del autómata.
 - PC: es el modo más potente y empleado en la actualidad. Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento en soporte magnético, impresión, transferencia de datos, monitorización mediante software SCADA, etc.

Para cada caso el fabricante proporciona lo necesario, bien el equipo o el software/cables adecuados. Cada equipo, dependiendo del modelo y fabricante, puede poseer una conexión a uno o varios de los elementos anteriores.

- **Dispositivos periféricos:** El autómata programable, en la mayoría de los casos, puede ser ampliable. Las ampliaciones abarcan un gran abanico de posibilidades, que van desde las redes internas (LAN, etc.), módulos auxiliares de E/S, memoria adicional... hasta la conexión con otros autómatas del mismo modelo.

Cada fabricante facilita las posibilidades de ampliación de sus modelos, los cuales pueden variar incluso entre modelos de la misma serie.

- **Software para la programación** Los paquetes de software para programación de autómatas convierten un ordenador personal en un equipo de programación específico, aprovechando sus potentes recursos de interfaz con otros sistemas (impresoras, otros PC) y con el usuario (teclado, monitor), y el bajo precio del hardware debido a la estandarización y generalización de uso de los ordenadores compatibles. Esta opción (PC + software) constituye, junto con las consolas, y éstas en menor medida, prácticamente la totalidad de equipos de programación utilizados por los programadores de autómatas.

Los requisitos de hardware y software exigidos para instalar sobre el PC un entorno de programación de autómatas suelen ser, en general, muy ligeros.

Algunos entornos actuales que corren bajo Windows presentan exigencias algo más duras en cuanto al hardware necesario en el PC (procesador 486 o superior, 8 Mbytes RAM,...), aunque en la práctica quedan cubiertas si el equipo está ya soportando el entorno Windows.

El paquete de programación se completa con la unidad externa de conexión que convierte y hace compatibles las señales físicas entre la salida serie estándar de PC (RS-232C, RS-422/485) y el puerto de conexión de la consola del autómata, canal usualmente utilizado también para la conexión con el PC.

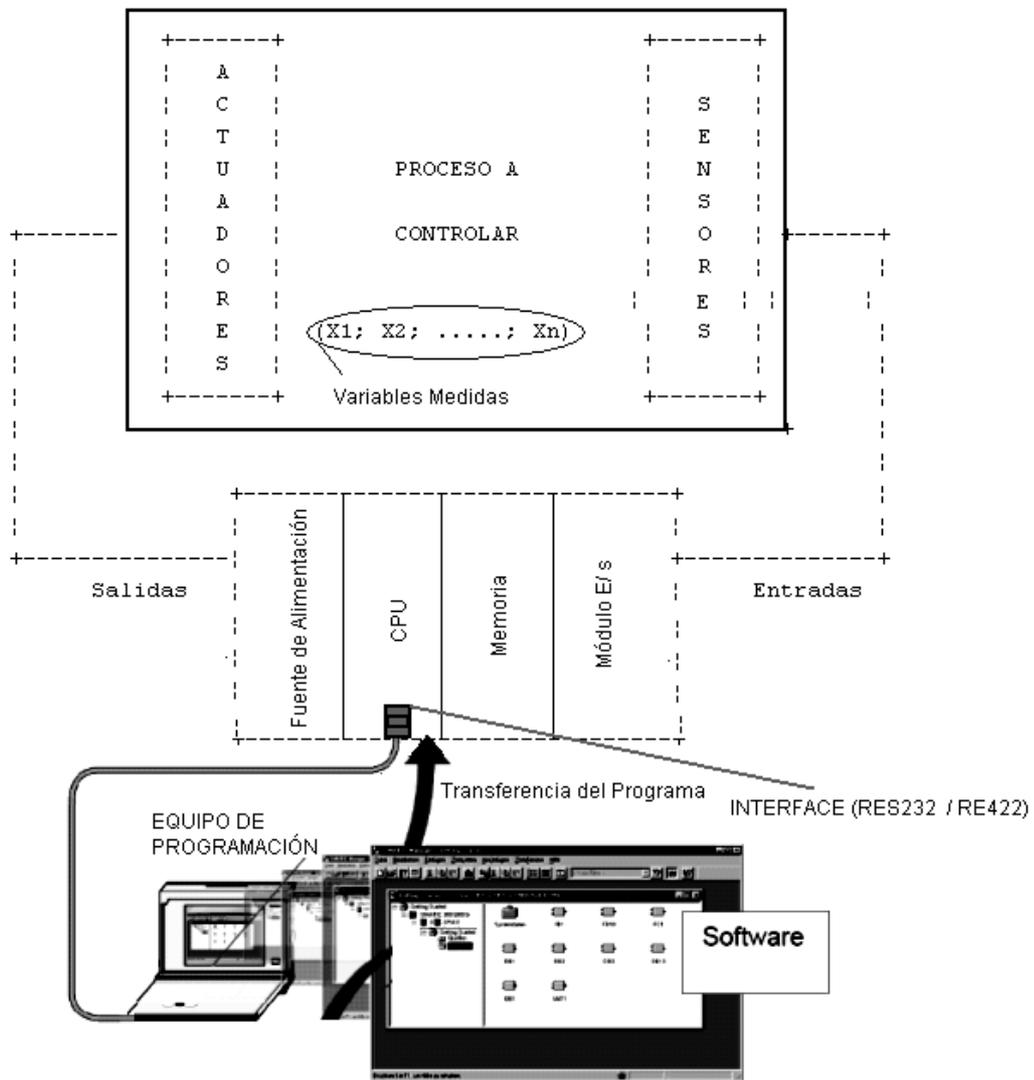


Figura 1.3. Arquitectura Básica del PLC

1.5.- MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA [4]

Los motores de corriente continua se usan en una amplia variedad de aplicaciones industriales en virtud de la facilidad con la que se puede controlar la velocidad. La característica velocidad-par se puede hacer variar para casi cualquier forma útil. Es posible la operación continua sobre un rango de velocidades de 8:1. En tanto que los motores de corriente alterna tienden a pararse, los motores de corriente continua pueden entregar más de cinco veces el par nominal (si lo permite la alimentación de energía eléctrica). Se puede realizar la operación en reversa sin conmutar la energía eléctrica.

1.5.1.- Partes básicas de un motor de corriente continua

La máquina de corriente continua consta básicamente de las siguientes partes:

INDUCTOR .- Es la parte de la máquina destinada a producir un campo magnético, necesario para que se produzcan corrientes inducidas, que se desarrollan en el inducido.

El inductor consta de las siguientes partes:

- **Pieza polar:** Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.
 - *Núcleo:* Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.
 - *Devanado inductor:* es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.
 - *Expansión polar:* es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.

- **Polo auxiliar o de conmutación:** Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia

- **Culata:** Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.

INDUCIDO.- Es la parte giratoria de la máquina, también llamado rotor.

El inducido consta de las siguientes partes:

- **Devanado inducido:** es el devanado conectado al circuito exterior de la máquina y en el que tiene lugar la conversión principal de la energía

- **Colector:** es el conjunto de láminas conductoras (delgas), aisladas unas de otras, pero conectadas a las secciones de corriente continua del devanado y sobre las cuales frotan las escobillas.
- **Núcleo del inducido:** Es una pieza cilíndrica montada sobre el cuerpo (o estrella) fijado al eje, formada por núcleo de chapas magnéticas. Las chapas disponen de unas ranuras para alojar el devanado inducido.

ESCOBILLAS.- Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de un órgano móvil con un órgano fijo.

ENTREHIERRO.- Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, lo imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil.

COJINETES.- Son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del inducido.

Los componentes de un motor de corriente continua se pueden apreciar claramente en la figura 1.4.

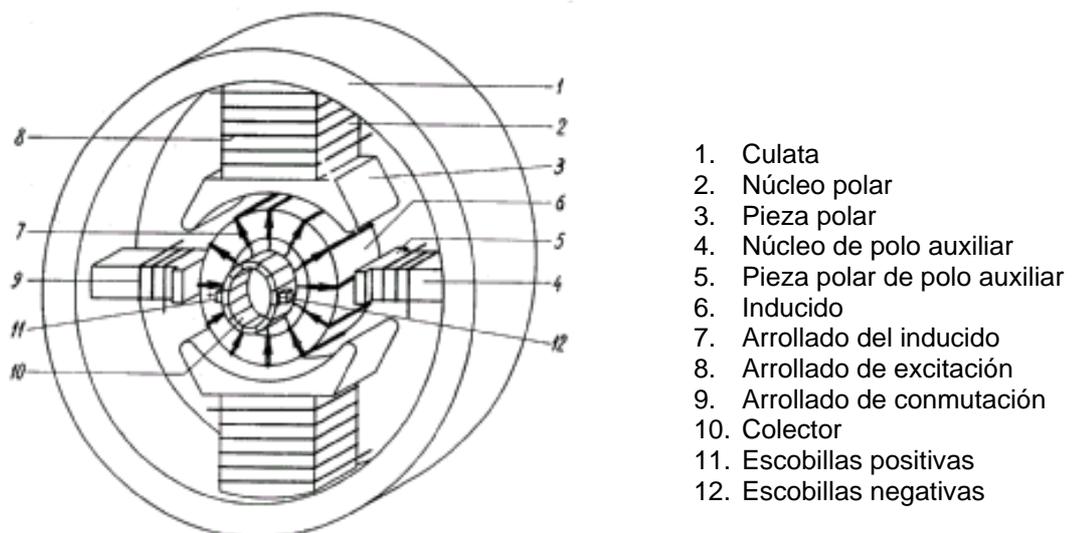


Figura1.4 Diagrama de un motor de corriente continua

Tomando como referencia la figura 1.4, los numerales del 1 al 5 forman el inductor. En conjunto los numerales 2 y 3 se designan por polo inductor. El numeral 6 constituye el inducido, al que va arrollado un conductor de cobre formando el arrollamiento del inducido. Alrededor de los núcleos polares, va arrollando, en forma de hélice, el arrollamiento de excitación (numeral 8). Análogamente cada núcleo de los polos de conmutación lleva un arrollamiento de conmutación (numeral 9). El numeral 10 representa el conmutador o colector, que esta constituido por varias láminas aisladas entre sí, formando un cuerpo cilíndrico.

El arrollamiento del inducido está unido por conductores con las laminas del colector; inducido y colector giran conjuntamente. Sobre la superficie del colector rozan unos contactos a presión mediante unos muelles. Dichas piezas de contacto se llaman escobillas.

1.5.2.- Clases de motores de corriente continua

Los motores de corriente continua dividen en dos grandes grupos:

a) Motores de imán permanente, entre ellos:

- Motores de corriente continua sin escobilla.
- Servomotores.

b) Motores de corriente continua de campo devanado, se clasifican como:

- Motor en derivación, en el que el devanado del campo está conectado en paralelo con la armadura.
- Motor devanado en serie, en el que el devanado del campo está conectado en serie con la armadura.
- Motor en compound, en el que se tiene un devanado del campo en serie y otro en paralelo.

1.5.2.1.- Motores de corriente continua de imán permanente

Existen motores de imán permanente (PM, permanent magnet), principalmente en valores pequeños de potencia. Tienen varias ventajas respecto a los del tipo de campo devanado. No se necesitan las alimentaciones de energía eléctrica para excitación ni el devanado asociado. Se mejora la confiabilidad, ya que no existen bobinas excitadoras del campo que fallen y no hay probabilidad de que se presente una sobrevelocidad debida a pérdida del campo. Se mejoran la eficiencia y el enfriamiento por la eliminación de pérdida de potencia en un campo excitador. Así mismo, la característica par contra corriente se aproxima más a lo lineal. Un motor de imán permanente (PM) se puede usar en donde se requiere un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua.

Las desventajas son la falta de control del campo y de características especiales velocidad-par. Las sobrecargas pueden causar desmagnetización parcial que cambia las características de velocidad y de par del motor, hasta que se restablece por completo la magnetización. En general, un motor PM es un poco más grande y más caro que un motor equivalente con devanado en derivación, pero el costo total del sistema puede ser menor.

1.5.2.1.1- Motores de corriente continua sin escobillas

Los motores de corriente continua sin escobillas tienen una armadura estacionaria y una estructura rotatoria del campo, exactamente en forma opuesta a como están dispuestos esos elementos en los motores convencionales de corriente directa. Esta construcción aumenta la rapidez de disipación del calor y reduce la inercia del rotor. Imanes permanentes suministran el flujo magnético para el campo. La corriente directa hacia la armadura se conmuta con transistores, en vez de las escobillas y las delgas del colector de los motores convencionales de corriente directa.

Es normal que las armaduras de los motores de corriente continua sin escobillas

contengan de dos a seis bobinas, en tanto que las armaduras de los motores convencionales de corriente continua contienen de 10 a 50. Los motores sin escobillas tienen menos bobinas porque se requieren dos o cuatro transistores para conmutar cada bobina del motor. Esta disposición se vuelve cada vez más costosa e ineficiente a medida que aumenta el número de devanados.

Los transistores que controlan cada devanado de un motor sin escobillas de corriente continua se activan y desactivan a ángulos específicos del rotor. Los transistores suministran pulsos de corriente a los devanados de la armadura, los cuales son semejantes a los que suministra un conmutador. La secuencia de conmutación se dispone para producir un flujo magnético rotatorio en el entrehierro, que permanece formando un ángulo fijo con el flujo magnético producido por los imanes permanentes del rotor. El par producido por un motor sin escobillas de corriente continua es directamente proporcional a la corriente de la armadura.

1.5.2.1.2.- Servomotores de corriente directa

Los servomotores de corriente continua son motores de alto rendimiento que por lo general se usan como motores primarios en computadoras, maquinaria controlada numéricamente u otras aplicaciones en donde el arranque y la detención se deben hacer con rapidez y exactitud. Los servomotores son de peso ligero, y tienen armaduras de baja inercia que responden con rapidez a los cambios en el voltaje de excitación. Además, la inductancia muy baja de la armadura en estos motores da lugar a una baja constante eléctrica de tiempo (lo normal entre 0.05 y 1.5 mS) que agudiza todavía más la respuesta del motor a las señales de comando. Los servomotores incluyen motores de imán permanente, circuito impreso y bobina (o coraza) móvil. El rotor de un motor acorazado consta de una coraza cilíndrica de bobinas de alambre de cobre o de aluminio. El alambre gira en un campo magnético en el espacio anular entre las piezas polares magnéticas y un núcleo estacionario de hierro. El campo es producido por imanes de fundición de Alnico cuyo eje magnético es radial. El motor puede tener dos, cuatro o seis polos.

Cada uno de estos tipos básicos tiene sus propias características, como son la

inercia, forma física, costos, resonancia de la flecha, configuración de ésta, velocidad y peso. Aun cuando estos motores tienen capacidades nominales similares de par, sus constantes físicas y eléctricas varían en forma considerable. La selección de un motor puede ser tan sencilla como ajustar uno al espacio del que se disponga. Sin embargo, en general éste no es el caso, ya que la mayor parte de los servosistemas son muy complejos.

1.5.2.2.- Motores de corriente continua con campo devanado

La construcción de esta categoría de motores es prácticamente idéntica a la de los generadores de corriente directa; con un pequeño ajuste, la misma máquina de corriente continua se puede operar como generador o como motor de corriente directa.

Los motores de corriente continua de imán permanente tienen campos alimentados por imanes permanentes que crean dos o más polos en la armadura, al pasar flujo magnético a través de ella. El flujo magnético hace que se cree un par en la armadura que conduce corriente. Este flujo permanece básicamente constante a todas las velocidades del motor: las curvas velocidad-par y corriente-par son lineales.

1.5.2.2.1.- Motores en derivación

Es el tipo de motor de corriente continua cuya velocidad no disminuye mas que ligeramente cuando el par aumenta.

En los motores de corriente continua y especialmente los de velocidad prácticamente constante, como los shunt, la variación de velocidad producida cuando funciona en carga y en vacío da una base de criterio para definir sus características de funcionamiento. Excepcionalmente, la reacción del inducido debería ser suficientemente grande para que la característica de velocidad fuera ascendente al aumentar la carga.

Los polos de conmutación han mejorado la conmutación de los dinamos de tal manera que es posible usar un entrehierro mucho más estrecho que antiguamente.

Como la armadura de un motor gira en un campo magnético, se genera una f.e.m. en los conductores que se opone a la dirección de la corriente y se le conoce como fuerza contraelectromotriz. La f.e.m. aplicada debe ser bastante grande como para vencer la fuerza contraelectromotriz y también para enviar la corriente I_a de la armadura a través de R_m , la resistencia del devanado de la armadura y las escobillas.

$$E_a = E_b + I_a R_m \quad \text{Volts}$$

La E_a = f.e.m. aplicada y E_b = fuerza contraelectromotriz. Puesto que la fuerza contraelectromotriz a la velocidad cero, es decir, en el arranque, es idénticamente cero y como por lo general la resistencia de la armadura es pequeña, es obvio, en vista de la ecuación anterior, que, a menos que se tomen medidas para reducir el voltaje aplicado, circulará una corriente excesiva en el motor durante ese arranque. Lo normal es que se usen dispositivos de arranque que consisten en resistores variables en serie, para limitar la corriente de arranque de los motores.

El par de un motor es proporcional al número de conductores en la armadura, la corriente por conductor y el flujo magnético total en la máquina. La fórmula para el par es:

$$\text{Par} = 0.1175 Z \phi I_a \frac{\text{polos}}{\text{trayectorias}} \times 10^{-8} \text{ lb} \cdot \text{ft}$$

Z = número total de conductores en la armadura

ϕ = flujo magnético total por polo

I_a = corriente de la armadura tomada de la línea.

$$E_b = E_a - I_a R_m = Z \phi \frac{r/\text{min}}{60} \frac{\text{polos}}{\text{trayectorias}} \times 10^{-8}$$

$$\Rightarrow \quad r/\text{min} = 60 \frac{E_a - I_a R_m}{Z\phi} \frac{\text{trayectorias}}{\text{polos}} \times 10^{-8}$$

Para un motor dado, el número Z de conductores en la armadura, el número de polos y el número de trayectorias en la armadura son constantes. Por lo tanto, el par se puede expresar como:

$$\text{Par} = \text{constante} \cdot \phi \cdot I_a$$

La velocidad se expresa como:

$$\text{Velocidad} = \text{constante} \cdot (E_a - I_a \cdot R_m) / \phi$$

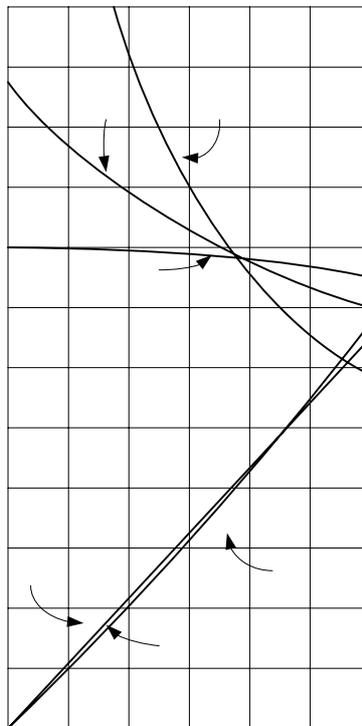


Figura 1.5 Características del motor

En el caso del motor en derivación, E_a , R_m y ϕ son constantes, y las curvas de la velocidad y el par se ven como la curva (1) de la figura 1.5; el par efectivo es menor que el generado por el par requerido para la fricción del viento y la de los cojinetes y las escobillas. La caída en la velocidad desde la condición en vacío hasta la de plena carga rara vez sobrepasa el 5%; de hecho, como ϕ , el flujo magnético por polo, disminuye al aumentar la carga, debido a la reacción de la armadura, es posible que la velocidad permanezca aproximadamente constante hasta la plena carga.

1.5.2.2.2.- Motor devanado en serie

Es el motor cuya velocidad disminuye sensiblemente cuando el par aumenta y cuya velocidad en vacío no tiene límite teóricamente.

Los motores con excitación en serie son aquellos en los que el inductor esta conectado en serie con el inducido. El inductor tiene un número relativamente pequeño de espiras de hilo, que debe ser de sección suficiente para que se pase por él la corriente de régimen que requiere el inducido.

En los motores serie, el flujo depende totalmente de la intensidad de la corriente del inducido. Si el hierro del motor se mantiene a saturación moderada, el flujo será casi directamente proporcional a dicha intensidad.

1.5.2.3.- Motor compound

Es el motor cuya velocidad disminuye cuando el par aumenta y cuya velocidad en vacío es limitada. Las características del motor compound están comprendidas entre las del motor de derivación y las del motor en serie. Los tipos de motor compound son el mismo que para los generadores, resumiéndose el aditivo y el diferencial.

El motor en compound es un término medio entre los motores devanados en serie y los de en derivación. En virtud de la existencia del devanado en serie, que ayuda al devanado en derivación, el flujo magnético por polo aumenta con la carga, de modo que el par se incrementa con mayor rapidez y la velocidad disminuye más rápidamente que si no estuviera conectado el devanado en serie; pero el motor no se puede desbocar con cargas ligeras, por la presencia de la excitación en derivación. En las curvas (2) de la figura 1.5 se muestran las características de velocidad y par para este tipo de máquina.

La velocidad de un motor en compound se puede ajustar por medio de reóstatos en la armadura y el campo, como en el caso de la máquina en derivación.

Los compound indirecta se usan en algunos motores de corriente directa. En este caso, el campo en serie con devanado de cinta gruesa se reemplaza con un campo con devanado de alambre, similar a un campo pequeño en derivación. Este campo se excita por medio de un excitador de corriente continua no saturado, por lo general accionado por separado a velocidad constante. Este excitador, a su vez, es excitado por la corriente de línea del motor, por la cual se alimenta la excitación en serie. El voltaje de salida y la corriente del excitador son proporcionales a la corriente principal del motor; de modo que existe una proporcionalidad dada entre la corriente de carga del motor y la intensidad de su campo en serie con devanado de alambre. El uso de un conmutador de polos y un reóstato en el circuito de la armadura del excitador en serie permite hacer variar la intensidad e incluso la polaridad del campo en serie. Esto da lugar a un método fácil para cambiar, si se desea, la condición de composición del motor, para diversas velocidades, con el fin de mantener la regulación de velocidad constante sobre cierto rango de velocidades. Si se desea, se puede conectar mecánicamente el reóstato del excitador en serie al reóstato del campo en derivación, para realizar en forma automática lo anterior.

1.5.3.- Aplicaciones de los motores de corriente continua

Los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades (por medio del control del campo).

El motor en derivación se utiliza en aplicaciones de velocidad constante, como en los accionamientos para los generadores de corriente continua en los grupos motogeneradores de corriente directa. El motor devanado en serie se usa en aplicaciones en las que se requiere un alto par de arranque, como en la tracción eléctrica, grúas, malacates, etcétera. En los motores en compound, la caída de la característica velocidad-par se puede ajustar para que se adecue a la carga.

En aplicaciones en las que tradicionalmente se emplean motores en compound, podría considerarse el motor PM en los casos en que se necesiten una eficiencia un poco más alta y una mayor capacidad de sobrecarga. En las aplicaciones de motores

devanados en serie, la consideración del costo puede influir en la decisión de hacer el cambio.

Los motores de excitación independiente tienen como aplicaciones industriales el torneado y taladrado de materiales, trefilación, extrusión de materiales plásticos y goma, ventilación de horno, retroceso rápido en vacío de ganchos de grúas, desenrollado de bobinas y retroceso de útiles para serrar. Los motores de excitación en derivación tienen aplicaciones como ventiladores, bombas, máquinas. Herramientas además de los citados para el motor de excitación independiente. Entre las aplicaciones del motor serie cabe destacar tracción eléctrica, grúas, bombas hidráulicas de pistón y en general en aquellos procesos donde lo importante sea vencer un par de gran precisión en la velocidad. El mayor uso del motor compound aditivo es en estrujadoras, grúas tracción, calandras, ventiladores, prensas, limadores, etcétera. El motor compound diferencial presenta el peligro de embalsarse para fuertes cargas, por lo que su empleo es muy limitado.

1.6.- VARIADORES DE VELOCIDAD DE CORRIENTE CONTINUA [5]

Los Variadores de Velocidad o "Drives", son dispositivos electrónicos destinados al control de motores de todo tipo. Se dividen en tres familias fundamentales: Drives de Corriente Alterna (CA), Drives de Corriente Continua (CC) y Servo Drives.

Se componen, básicamente, de un circuito rectificador/inversor de potencia, que convierte la alimentación normal de la red trifásica, en la alimentación requerida por el motor. Hace algunos años, la única posibilidad de variación de velocidad se hallaba en los motores de CC pero, en la actualidad, es cada vez mayor el uso de Drives para motores comunes de CA. La diferencia constructiva y funcional radica, principalmente, en el circuito electrónico de control. En términos generales, con un Drive pueden obtenerse las siguientes prestaciones: protección térmica integral y contra cortocircuitos, control de límite de corriente, control de torque, control de 1/1000 y hasta 6 veces la velocidad nominal, etc. (estas variantes dependen, además, de cada marca y modelo).

Así como los PLC's, la integración de los accionamientos de corriente continua con drives programables incrementa la flexibilidad de los proyectos de modernización.

La nueva generación de rectificadores al igual que los accionamientos de corriente continua digitalizados disponen de una dinámica elevada, la respuesta de la regulación es inferior a los diez milisegundos, es decir, sólo una fracción de los valores requeridos por el proceso. Los rectificadores reequipados también pueden ampliarse en forma modular y la parametrización completamente electrónica elimina todo ajuste por hardware como, por ejemplo, con potenciómetros o por colocación de puentes (jumper).

Una interfaz para la conexión en paralelo de varios aparatos permite obtener un funcionamiento redundante e incrementa la disponibilidad de toda la instalación. Y para redondear el panorama cabe consignar que el accionamiento digitalizado puede integrarse sin problemas en cualquier entorno de automatización.

Teniendo así las principales ventajas de la utilización de drives programables:

- Digitalización de los accionamientos de corriente continua existentes con precios convenientes.
- El Control por el método de módulos sólo reemplaza la regulación.
- Integración sin problemas en los sistemas de automatización de nivel superior.
- Los tiempos de reequipamiento más breves.
- Diseño especial de los bornes reducen a un mínimo los gastos necesarios para el cableado.
- Interfaz paralela para funcionamiento redundante brinda la máxima disponibilidad de la instalación.

La técnica de corriente continua mantiene su vigencia como solución económica para las aplicaciones más variadas. Por este motivo es que Siemens desarrolla permanentemente su generación de rectificadores completamente digital Simoreg DC Master. Como ejemplo cabe consignar la reciente ampliación de potencia hasta 960 V 3 CA e intensidades de servicio de hasta 3000 A CC sin conexión en paralelo. Los equipos en sí ofrecen una elevada dinámica, confiabilidad, dominan la operación en uno y cuatro cuadrantes, admiten una puesta en servicio por medio de la parametrización guiada por menú sin requerir intervenciones en el hardware e integración sin discontinuidades en cualquier panorama de automatización.

La técnica Simoreg posibilita la integración en el panorama de la automatización actual de los grandes accionamientos de corriente continua que, si bien son antiguos y analógicos, todavía mantienen toda su potencia. El módulo “Simoreg Control” permite actualizar en forma rápida y con costos convenientes los accionamientos de corriente continua analógicos para llevarlos al estado tecnológico de un moderno Simoreg DC Master manteniendo todos los elementos de potencia existentes [6].

Los equipos compactos duramente testeados pueden ser usados para alimentar la armadura así como también el circuito de campo y, dependiendo de la aplicación, se puede elegir entre operación en un cuadrante o en cuatro cuadrantes. Las unidades digitales realizan un control de lazo cerrado de la energía de campo.



Figura 1.6 Convertidor simoreg dc-master

Aplicaciones

Los convertidores SIMOREG han demostrado su excelencia en muchas aplicaciones como:

Accionamientos principales de máquinas impresoras.

Accionamientos de transporte e izaje en la industria de grúas y aparejos.

Accionamientos para elevadores.

Accionamientos para telares en la industria del caucho.

Accionamientos para laminadoras.

Accionamientos para cizallas en la industria del acero.

Máquinas para papel.

Accionamientos para bobinado de films, papel y alambre.

Accionamientos para guillotinas.

Máquinas laminadoras de perfiles.

Máquinas para bancos de pruebas y ensayo de motores, turbinas o motorreductores.

En el área de los accionamientos de corriente continua Siemens ha establecido referencias con cada nuevo desarrollo.

Estos convertidores completamente digitales dotados de microprocesadores de última generación, resultan la solución ideal para la más variada gama de aplicaciones industriales que involucren motores de CC.

Características principales

- Conexión directa a sistemas trifásicos de alimentación de: 400, 460, 575, 690 y 830 VAC
- Operación en uno o cuatro cuadrantes
- Rango de corrientes de armadura entre 15 A y 2000 A
- Potente algoritmo de regulación de velocidad con tiempos de respuesta de corriente o torque inferiores a 10 milisegundos
- Full torque aun a bajas velocidades
- Amplio rango de ajuste de velocidad a par constante
- Plenamente incorporados al concepto TIA (Automatización Totalmente Integrada) vía Pro- fibus DP gracias al Sistema de Ingeniería DRIVE ES que asegura homogeneidad absoluta, desde la configuración a la gestión de los datos

1.7.- CONTROLADORES PID [7]

El controlador es en esencia un circuito que realiza determinadas operaciones analógicas o digitales con propósitos especiales sobre la señal de error (diferencia entre set point y el valor medido de la variable dinámica) enviando el resultado obtenido a las etapas del sistema que actúa sobre la variable manipulada, con el fin de mantener la salida del sistema al valor más cercano como sea posible al valor del set point. Se dice que “el mejor control para un proceso, es el que más se ajusta a éste”.

Un concepto básico es que para que el control realimentado automático exista, es que el lazo de realimentación esté cerrado. Esto significa que la información debe ser continuamente transmitida dentro del lazo. El controlador debe poder mover el actuador, éste debe poder afectar a la medición, y la señal de medición debe ser reportada al controlador. Si la conexión se rompe en cualquier punto, se dice que el lazo está abierto. Tan pronto como el lazo se abre, como por ejemplo, cuando el controlador es colocado en modo manual, la unidad automática del controlador queda imposibilitada de mover al actuador. Así las señales desde el controlador en respuesta a las condiciones cambiantes de la medición no afectan a la válvula y el control automático no existe.

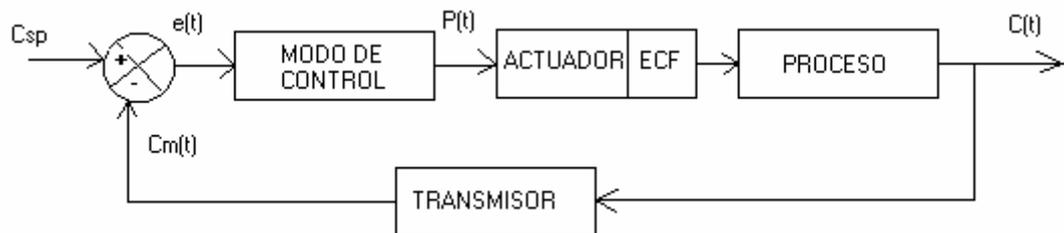


Figura 1.7 Lazo Cerrado de Control

Los modos de control más difundidos son ON – OFF, Modo de control Proporcional, modo de control Integral, Modo de control Derivativo, Modos de control Compuestos (PI, PD, PID).

1.7.1.- Parámetros del regulador PID

Son la constante o ganancia proporcional (K_p), el tiempo integral (T_i) y el tiempo derivativo (T_d). En lugar de indicar la constante proporcional se da en ocasiones la banda proporcional expresada en tanto por ciento, se calcula como la inversa de la constante proporcional y multiplicado por 100. El tiempo integral representa el tiempo que necesita la acción integral para suministrar una señal igual a la proporcional. Si el error es un escalón, la acción P será una horizontal y la acción I será una recta creciente. La suma será otra recta con igual pendiente pero elevada una distancia igual a la acción P. Cuando ha transcurrido un tiempo igual a T_i , las acciones proporcional e integral serán iguales, de donde se deduce la relación que se indica en la figura siguiente. Cada vez que la acción integral alcanza a la proporcional se dice que se ha producido una repetición y T_i se expresa en minutos o segundos por repetición. A veces se indica la inversa de T_i , quedando expresado en repeticiones por minuto o segundo. Debe tenerse en cuenta que la acción integral disminuye al aumentar T_i , de forma que para anular esta acción tendrá que darse a T_i un valor muy grande.

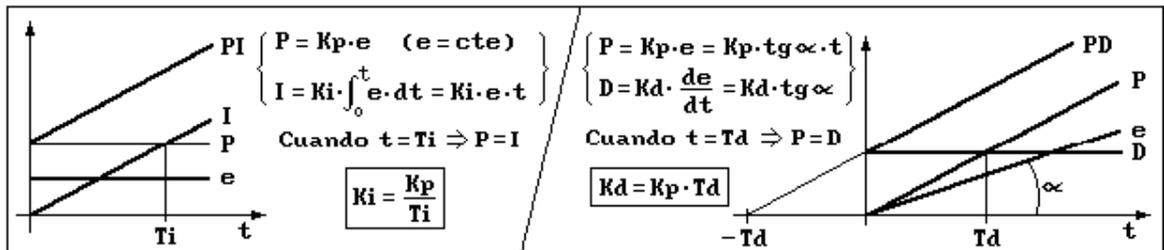


Figura 1.8 Relación de acciones PI y PD

Si la señal de error aumenta linealmente con el tiempo (una señal en rampa), la acción P será igualmente una recta con mayor o menor pendiente dependiendo del valor de K_p . Debido a que la pendiente del error es constante, la acción derivativa será una recta horizontal. La acción combinada PD aparenta ser una acción proporcional que se anticipa T_d unidades de tiempo. T_d se mide en segundos o minutos. Cuando ha pasado un tiempo igual a T_d , las acciones proporcional y derivativa son iguales como vemos en la parte derecha de la figura 1.8, de ello se deduce la relación entre T_d y K_p . La acción derivativa aumenta si el valor T_d aumenta, de forma que para anular esta acción tendrá que darse a T_d el valor cero.

1.7.2.- Precisión estática de un control en lazo cerrado

Se define como la relación entre las señales de error y de consigna cuando se ha alcanzado el equilibrio y se multiplica por 100 para expresarlo en tanto por ciento. Vamos a llamar K_c a la ganancia del controlador en régimen estático (en equilibrio), K_p a la ganancia del proceso y K_s a la ganancia del sensor.

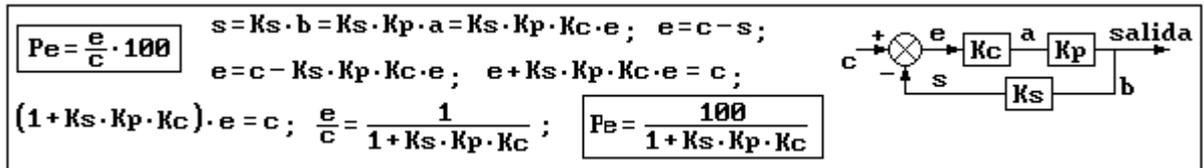


Figura 1.9 Precisión estática de un control de lazo cerrado

Proceso autorregulable con controlador proporcional: En este ejemplo la precisión no es buena, luego existe un error estático que no se anula y constituye un 14,3% del valor de consigna.

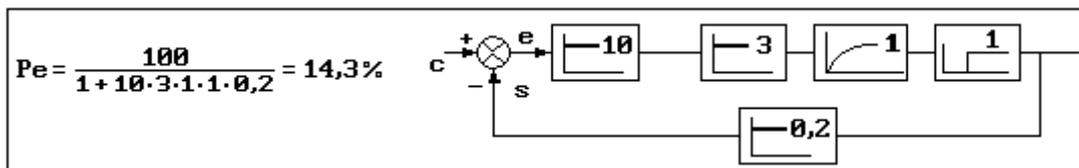


Figura 1.10. Proceso autorregulable con controlador P

Proceso no autorregulable con controlador proporcional: En este caso tenemos un bloque integrador que no permite en lazo abierto alcanzar el equilibrio (sistema no autorregulable). El bloque integrador no tiene propiamente una ganancia estática porque el valor de su salida tiende a infinito con el tiempo cuando se le aplica una entrada constante. El resultado de 0% (ejemplo de la figura) indica que la salida seguirá fielmente a la consigna en régimen estático, aunque no nos da información sobre el comportamiento antes del equilibrio ni tampoco sobre el tiempo necesario para alcanzarlo.

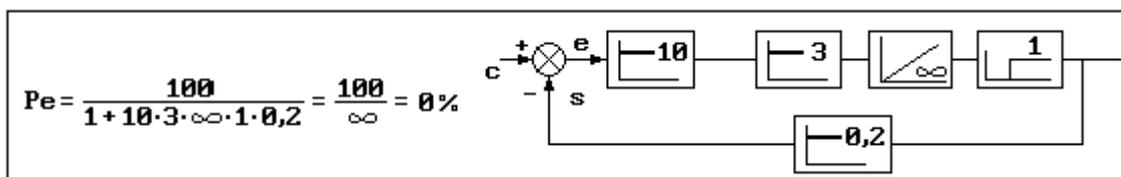


Figura 1.11 Proceso no autorregulable con controlador P

Proceso autorregulable con controlador PI: A diferencia del primer ejemplo, vemos que añadiendo una acción integral en el controlador se elimina el error estático en un proceso autorregulable.

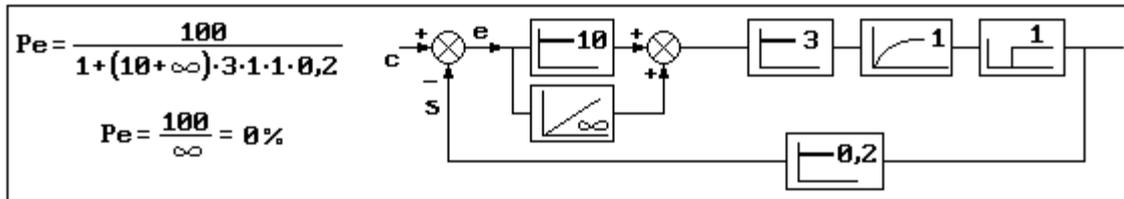


Figura 1.12 Proceso autorregulable con controlador PI

1.7.3.- Precisión estática con perturbaciones

Es frecuente que un sistema en lazo cerrado esté influido por perturbaciones que forman parte del proceso. Si el sistema es lineal, el valor de una señal se puede calcular como la suma de los efectos que originan las acciones que intervienen por separado. Así pues, para determinar el error correspondiente a la figura hallaremos un primer error (e') originado solamente por la consigna (con perturbación "t" igual a cero), un segundo error (e'') causado solamente por la perturbación (con la consigna igual a cero) y sumaremos los resultados. Consideramos $Kp1$ la ganancia del proceso antes de la perturbación y $Kp2$ la ganancia del proceso después de la perturbación.

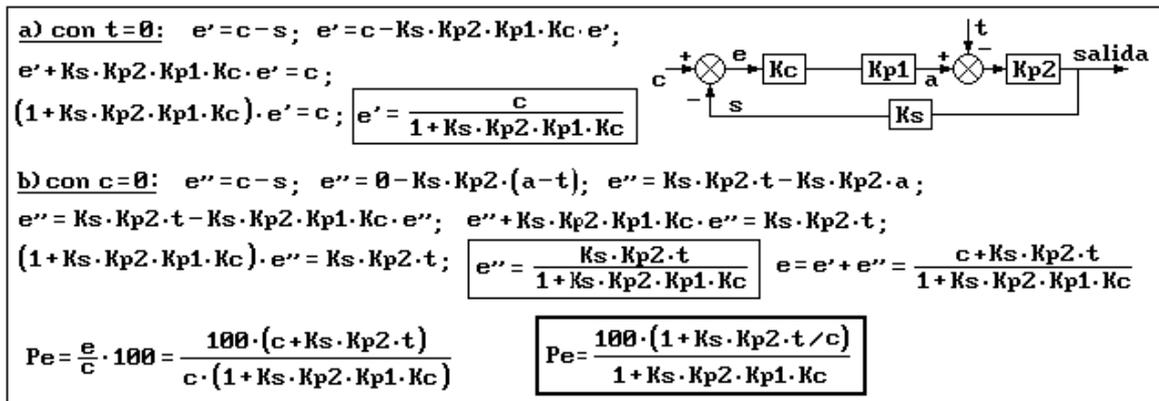


Figura 1.13 Precisión estática con perturbaciones

Proceso autorregulable con controlador proporcional: En el primer ejemplo del apartado anterior se vio el mismo caso pero sin perturbaciones, donde se justificó que la precisión ni era buena. Introduciendo una perturbación de valor 7 (figura siguiente), la precisión es aún peor, ya que aumenta de 14.3 a 34.3 %.

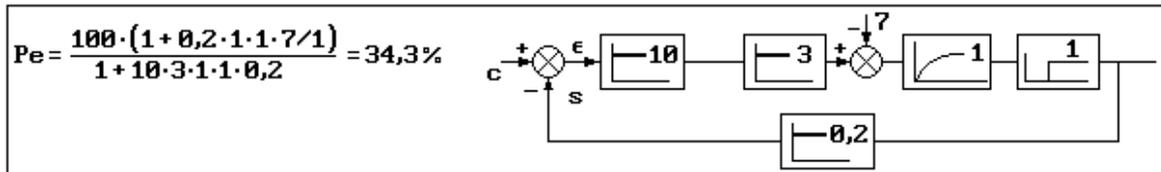


Figura 1.14 Proceso autorregulable con controlador P

Proceso no autorregulable con controlador proporcional: En el segundo ejemplo del apartado anterior se vio el mismo caso pero sin perturbaciones, donde se justificó una perfecta precisión estática. Si introducimos una perturbación de valor 7 (figura 1.15), el sistema deja de responder de manera precisa.

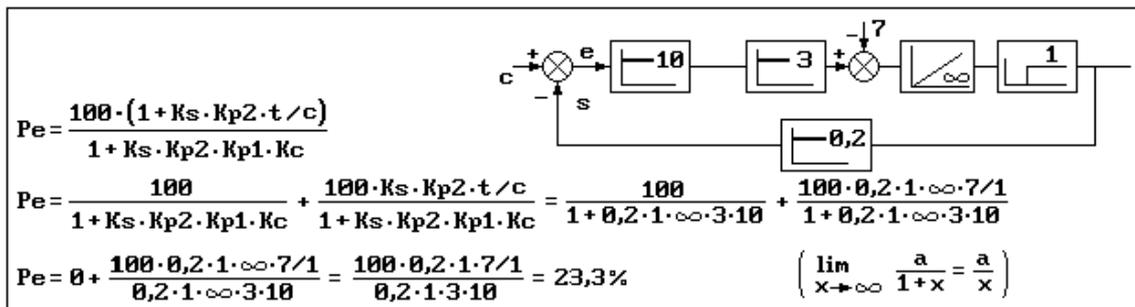


Figura 1.15 Proceso no autorregulable con controlador P

Proceso autorregulable con controlador PI: En el tercer ejemplo del apartado anterior se vio el mismo caso pero sin perturbaciones, donde se justificó una perfecta precisión estática. Si introducimos una perturbación de valor 7 (figura 1.16), el sistema sigue manteniendo su precisión. Se constata que un regulador con acción integral permite que la salida de un proceso autorregulable siga fielmente a la consigna en régimen estático, haya o no haya perturbaciones.

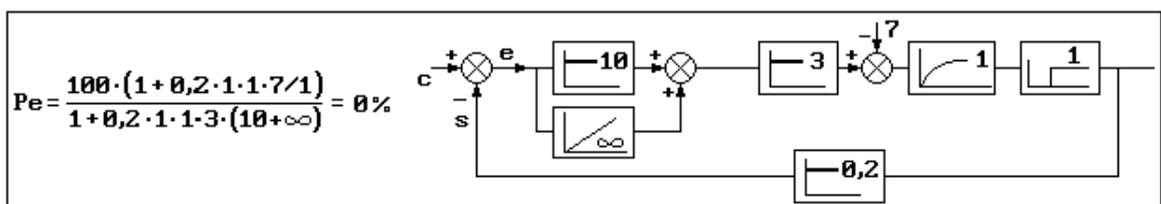


Figura 1.16 Proceso autorregulable con controlador PI

1.7.4.- Sensibilidad de un proceso

Interesa que la salida de un sistema sea insensible a la variación de sus parámetros para evitar problemas debidos a la imprecisión de sus componentes, o incluso por falta de linealidad de los mismos. Se define la sensibilidad como el cociente entre la variación unitaria de la salida entre la variación unitaria del parámetro respecto del cual deseamos calcular la sensibilidad.

Sensibilidad de "Y" respecto de un parámetro "p"	$S_{Yp} = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta P/P}$
--	--

Sensibilidad respecto de la ganancia del proceso en lazo abierto: Suponemos que la ganancia del proceso (K_p) vale 5 inicialmente y se incrementa hasta 5,5. Consideramos la ganancia del controlador $K_c=10$. El cálculo que se desarrolla a continuación indica que la salida se incrementa en la misma proporción que lo haga la ganancia del proceso (100%), razón por la que es tan impreciso este control).

c	$\boxed{K_c=10}$	$\boxed{K_p=5}$	$\frac{Y}{c}$	$Y = 5 \cdot 10 \cdot c = 50 \cdot c$	$\Delta Y = 55 \cdot c - 50 \cdot c = 5 \cdot c$	$\Delta K_p = 5,5 - 5 = 0,5$
c	$\boxed{K_c=10}$	$\boxed{K_p=5,5}$	$\frac{Y'}{c}$	$Y' = 5,5 \cdot 10 \cdot c = 55 \cdot c$	$S_{YK_p} = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta K_p/K_p} = \frac{5 \cdot c / 50 \cdot c}{0,5 / 5} = 1 \text{ (100\%)}$	

Figura 1.17 Sensibilidad respecto de la ganancia del proceso en lazo abierto

Sensibilidad respecto de la ganancia del proceso en lazo cerrado: Suponemos que K_p pasa igualmente de 5 a 5,5. El cálculo que se desarrolla a continuación indica una sensibilidad de solo un 0,6%, que es mucho más interesante.

c	\oplus	e	$\boxed{K_c=10}$	$\boxed{K_p=5}$	Y	$Y = 5 \cdot 10 \cdot e = 50 \cdot (c - s) = 50 \cdot c - 50 \cdot s = 50 \cdot c - 50 \cdot 3 \cdot Y$
	$-$					$Y = 50 \cdot c - 150 \cdot Y \quad 151 \cdot Y = 50 \cdot c \quad Y = \frac{50 \cdot c}{151} = 0,3311 \cdot c$
			$\boxed{K_s=3}$			
c	\oplus	e	$\boxed{K_c=10}$	$\boxed{K_p=5,5}$	Y'	$Y' = 0,3313 \cdot c$ (cálculo similar al anterior)
	$-$					$S_{YK_p} = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta K_p/K_p} = \frac{(0,3313 \cdot c - 0,3311 \cdot c) / 0,3311 \cdot c}{(5,5 - 5) / 5} = 0,006$
			$\boxed{K_s=3}$			

Figura 1.18 Sensibilidad respecto de la ganancia del proceso en lazo cerrado

Sensibilidad respecto de la ganancia del sensor en lazo cerrado: Suponemos que la ganancia del sensor pasa de 3 a 2,7. El resultado del cálculo que a continuación se desarrolla deja bastante que desear, razón por la que resulta muy importante adquirir sensores con una ganancia muy estable y se justifica que los sensores son realmente la clave del éxito de una buena regulación.

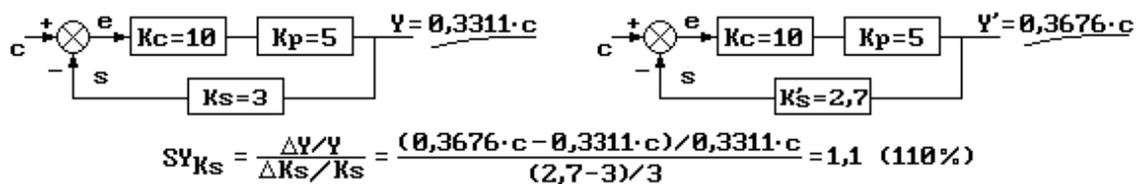


Figura 1.19 Sensibilidad respecto de la ganancia del sensor en lazo cerrado

1.7.5.- Orientaciones para el uso del regulador PID

Para el control de posición o dirección, velocidad y aceleración, se utilizan las tres acciones, aunque existen algunas excepciones como el control numérico de máquinas en las que se aplica el regulador P para el control de la posición de la herramienta y un regulador PI para el control de la velocidad de la misma.

En la regulación del caudal y presión en líquidos es esencial la acción integral pero perjudicial la derivativa porque amplifica las perturbaciones que producen los sensores de medida de este tipo de variables. Por lo tanto se recomienda un PI con un tiempo integral elevado. Para la regulación de nivel ocurre lo mismo aunque puede prescindirse de la acción integral si el error es aceptable.

Es esencial la acción derivativa en la regulación de temperatura porque los retardos son considerables, pero es innecesaria en la regulación de la presión de un gas para la que basta con un controlador proporcional con una ganancia grande. La variación de la presión es un proceso muy estable y se elimina prácticamente el error con una acción P.

Es necesaria la acción integral si el proceso es continuo pero no lo es si el propio proceso dispone de un elemento integrador (control P o PI). En la regulación de temperatura y presión de vapor es necesaria la acción integral y la derivativa es esencial si se necesita acelerar la respuesta. En la regulación del pH es esencial la acción integral y la derivativa es recomendable.

Tabla 1.2 Orientación para uso del controlador PID

Caudal y presión en líquidos	Presión de un gas	Nivel en líquidos	Temperatura y presión de vapor	pH	
50-500 %	0-5 %	5-50 %	10-100 %	100-1000 %	(1/Kp) Banda proporcional
Esencial	Innecesario	Si	Si	Esencial	I
No	Innecesario	No	Esencial	Si posible	D

1.7.6.- Sintonía de parámetros del regulador PID

El primer paso para aplicar un controlador consiste en elegir el tipo adecuado (P, PI, PID), para lo cual se necesita comprender el efecto de las tres acciones y a ser posible tener experiencia sobre el proceso a controlar. El segundo paso es ajustar los parámetros para que la respuesta del sistema se ajuste a unas determinadas especificaciones.

El ajuste de parámetros es frecuente en procesos industriales, no solo en los trabajos de puesta en marcha, sino también cuando se detectan cambios sustanciales del comportamiento del proceso. Las técnicas experimentales están especialmente orientadas al mundo industrial, donde existen grandes dificultades para obtener una descripción matemática. Las técnicas de ajuste son:

- Prueba y error. Se necesitan unos criterios básicos y largo tiempo de ensayo.
- Sintonía en lazo abierto. Experimental.
- Sintonía en lazo cerrado. Experimental.
- Sintonía con especificaciones frecuenciales. Experimental.
- Sintonía analítica. Requiere modelo matemático fiable.

Las especificaciones de funcionamiento que se pueden imponer en un proceso están sujetas a diversas limitaciones, por ejemplo con un controlador proporcional sería incompatible pedir a la vez la máxima precisión y la máxima estabilidad porque la mejora de una de ellas origina un perjuicio en la otra. Estas son las especificaciones más frecuentes:

- **Tiempo de respuesta**, que será el máximo aceptado para que se alcance el equilibrio después de un cambio de la consigna.
- **Precisión estática**, cuyo significado ya conocemos.
- **Banda pasante**, que es la gama de frecuencias para las que el sistema debe responder sin una pérdida excesiva de su ganancia.
- **Margen de fase y margen de ganancia**, que constituyen una medida de la estabilidad del sistema.

1.7.7.- Sintonía de parámetros en lazo abierto

Esta técnica solo puede aplicarse con procesos autorregulables (la mayoría de los industriales) porque se necesita alcanzar un equilibrio en lazo abierto para medir las constantes del proceso. El comportamiento de los procesos autorregulables puede interpretarse como la conexión en cascada de un bloque de retardo puro, con un tiempo de retardo tau, y un bloque retardador de primer orden con una constante de tiempo T y una ganancia K.

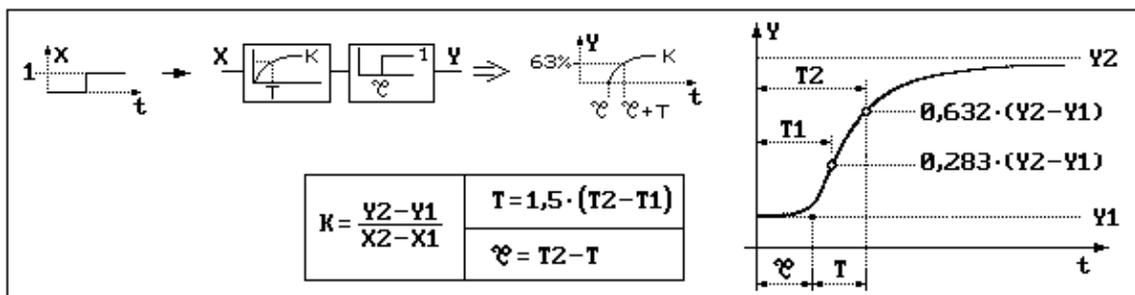


Figura 1.20 Sintonía de parámetros en lazo abierto

Los pasos para determinar los parámetros K_p , T_i y T_d son los siguientes:

- 1.- Poner al proceso en lazo abierto, para lo cual será bueno disponer de un sistema que facilite esta operación y permita la medida de la consigna manual y la señal del sensor.
- 2.- Ajustar el offset y la ganancia del sensor si no se ha hecho antes para que su banda de variación coincida con la de consigna. Primero se ajusta el cero mediante el mando de offset y a continuación se fija el límite superior con el ajuste de ganancia.
- 3.- Buscamos que la salida se estabilice en un valor cualquiera que llamamos Y_1 y anotamos el valor de consigna que hemos ajustado para conseguirlo y que podemos llamar X_1 (los valores X_1 e Y_1 definen un primer punto de equilibrio). Buscamos un segundo punto de equilibrio que estará definido por otra pareja de valores (X_2 e Y_2). Estas operaciones pueden llevar largo tiempo de espera, dependiendo del tipo de proceso.
- 4.- Calculamos la ganancia del proceso (K) como se indicó en la figura anterior.
- 5.- Ajustamos la consigna en el valor X_1 que tendremos anotado y esperamos el equilibrio, que lógicamente se alcanzará cuando la salida llegue al valor Y_1 .
- 6.- Ajustamos la consigna en el valor X_2 y medimos los tiempos T_1 y T_2 que corresponden al 28,3% y al 63,2% de la variación que experimentó la salida y que podemos ver reflejado en la figura anterior.
- 7.- Calculamos la constante de tiempo del proceso (T) y el tiempo de retardo (τ) de la forma indicada en la figura anterior.
- 8.- Con los tres parámetros del proceso ya conocidos (K , T y τ) podremos calcular los parámetros del PID (K_p , T_i y T_d) según el criterio de funcionamiento que nos parezca más adecuado. Estos criterios los vemos a continuación.

1.7.8.- Criterios de funcionamiento para sintonía en lazo abierto

Criterio de amortiguamiento $\frac{1}{4}$: Combina bien una respuesta rápida junto con un cierto grado de estabilidad. El amortiguamiento de una respuesta es la relación entre dos rebasamientos consecutivos. Reacciona bien frente a perturbaciones y es muy utilizado. Los parámetros del regulador se calculan como se indica en la figura 1.21.

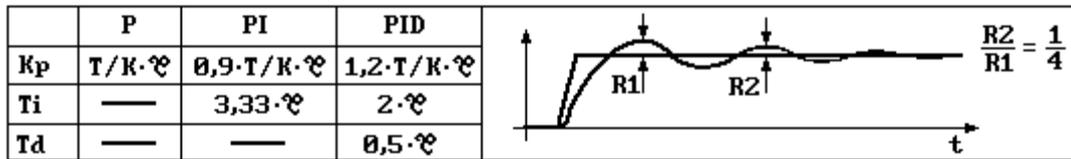


Figura 1.21 Cálculo de los parámetros del controlador

Este método fue ideado en 1942 por John G. Ziegler y Nathaniel B. Nichols, si bien su idea original se basaba en la determinación de los parámetros a partir de la curva de reacción frente a un escalón unitario aplicado a la entrada (si la entrada no es unitaria habrá que dividir los valores obtenidos en la salida entre el incremento que se haya aplicado en la entrada). Se necesita representar muchos puntos de la curva y trazar una recta tangente a la misma en el punto de inflexión.

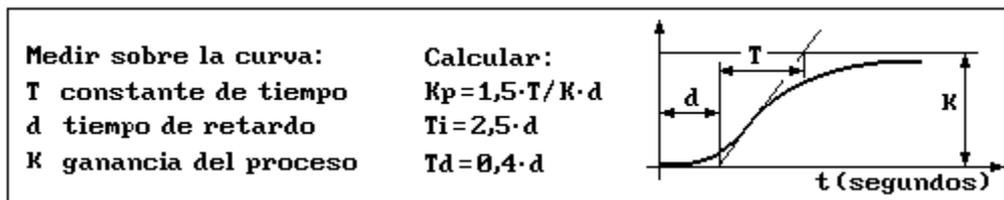


Figura 1.22 Curva de reacción frente a un escalón

Mínima Integral del Error Absoluto (MIAE): La idea se basa en minimizar la suma de errores absolutos (sin tener en cuenta el signo), es decir, en hacer mínima el área que se ha rayado en la figura siguiente. Se consigue una relación de amortiguamiento próxima a $1/4$.

Mínima Integral del Cuadrado del Error (MISE): Es equivalente al criterio anterior puesto que el cuadrado del error siempre es positivo pero penaliza los grandes errores. La respuesta será muy rápida pero poco amortiguada. Se recomienda para una buena respuesta frente a cambios en carga (perturbaciones).

Mínima Integral del Error Absoluto multiplicado por el Tiempo (MÍATE): La señal de error multiplicada por el tiempo es similar al error pero más amplificada a medida que el tiempo avanza (figura 1.23) y por lo tanto serán penalizados los errores tardíos. La respuesta inicial es lenta pero alcanza pronto el régimen estático. Es adecuado frente a cambios en consigna pero también se adapta a cambios en carga con un tiempo de respuesta y estabilización aceptables frente a cambios en consigna.

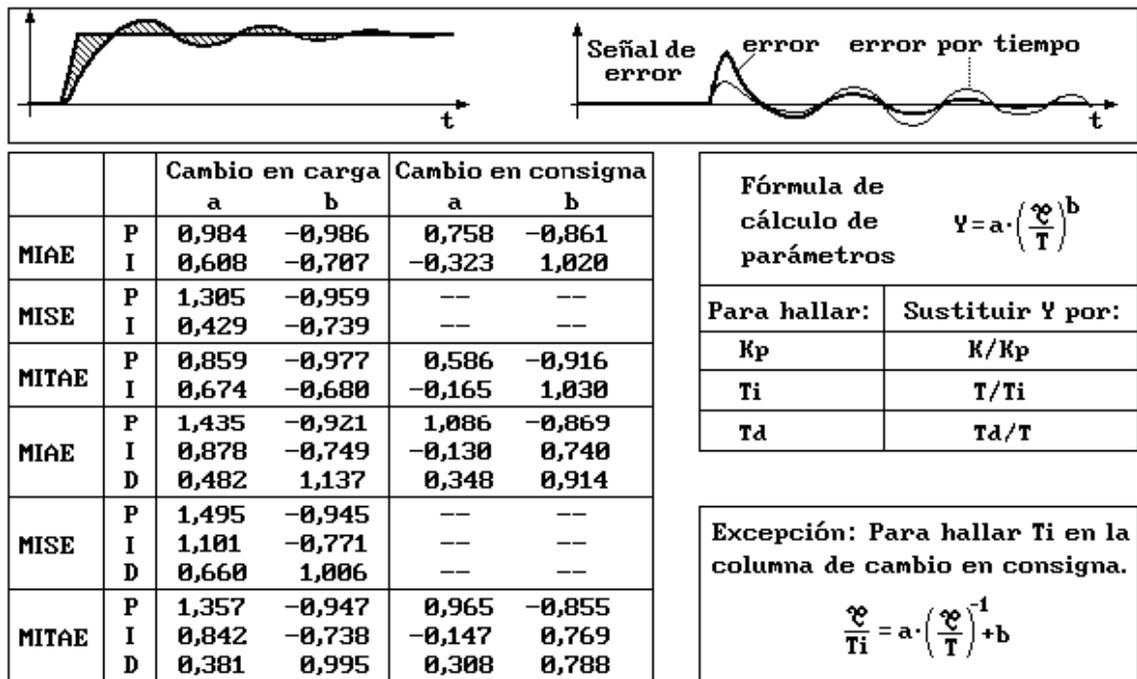


Figura 1.23 Coeficientes y fórmulas de cálculo de parámetros PI, PID

En la figura 1.23 se muestran los coeficientes y las fórmulas de cálculo de los parámetros del PI y del PID según los tres últimos criterios. Los coeficientes (a y b) correspondientes al PID solo son válidos si la respuesta del proceso a una entrada escalón es siempre creciente y el cociente tau/T es menor de 1.

1.7.9.- Sintonía de parámetros en lazo cerrado

Ziegler y Nichols también describieron una técnica de ajuste en lazo cerrado pero con la parte integral y la parte derivativa anuladas. La constante proporcional (Kp) es incrementada hasta que una perturbación causa una oscilación mantenida (que no se anula). El valor más pequeño de la constante proporcional que causa tal oscilación se denomina constante proporcional crítica (Crit.). El período de esas oscilaciones es el llamado período de oscilación crítico (a.C.). Véase la figura 1.24.

En el segundo recuadro de la figura 1.24 tenemos una tabla con las fórmulas de cálculo que se ajustan al criterio de amortiguamiento 1/4. Es por tanto apropiado cuando deban prevenirse grandes desviaciones frente a cambios en consigna y en carga y los tiempos de respuesta y estabilización son aceptables al cambiar la consigna. Este método da resultados precisos pero puede suponer mucho tiempo de prueba y error

hasta conseguir la oscilación mantenida, existiendo además el peligro de inestabilizar el sistema. Se recomienda generalmente la estimación en lazo abierto (a pesar de ser un método aproximado) porque es más fácil y porque abarca un mayor número de criterios.

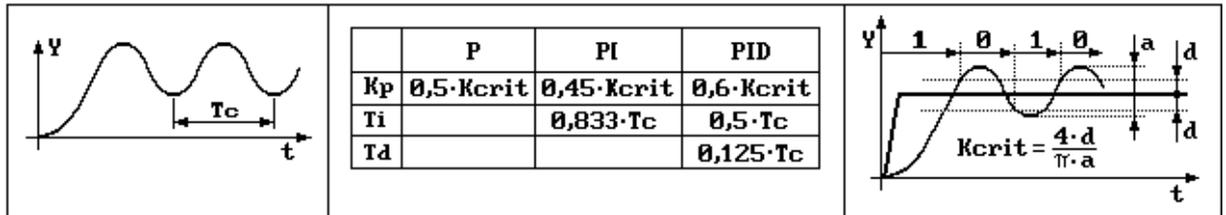


Figura 1.24 Métodos de sintonía de parámetros de un PID

Un método más sencillo, pero solo aproximado, es el método del relé (último recuadro de la figura 1.24). Consiste en sustituir el controlador proporcional por un control todo o nada, que satura o anula la acción de control sobre el proceso. Aplicando una consigna constante, se utiliza la señal de error para decidir los momentos de conexión y desconexión (+d y -d en la figura) y cuando la salida alcanza una frecuencia de oscilación estable, el período coincide aproximadamente con el valor T_c ya explicado. El valor K_{crit} se calcula aproximadamente con la fórmula que tenemos en la figura y finalmente podemos aplicar las mismas fórmulas de la tabla central.

1.8.- INTERFACES HMI [8]

En los últimos años, el software de interfaz máquina-humano (HMI) tiene un papel claramente definido en una planta industrial: simplemente sirve de vínculo entre las máquinas y las personas quienes las operan, proporcionando diversos elementos de control para visualizar datos de procesos, emitiendo alarmas, registrando datos, aportando animación a gráficos y representando visualmente el estado de las máquinas y los procesos. Sin embargo, así como las computadoras personales y las nuevas tecnologías de software han transformado el mundo, durante los últimos años el sector industrial se ha visto afectado en cierta forma.

Con el aumento y la mayor diversidad de necesidades, el software HMI ha evolucionado desde una herramienta de visualización en la planta industrial hasta

convertirse en una autentica interfaz de empresa que permite capturar, controlar y transmitir datos desde el campo hasta las mismas salas de controles.

Nuevas tecnologías como OLE, ODBC, OPC, VBA y ACTIVEX ha hecho que el software tradicional HMI se amplíe, y además ofrezca características, hasta ahora sin precedentes en cuanto a capacidad de personalización, escalabilidad (facilidad de ampliación y actualización), ínter polaridad con otros sistemas abiertos y portabilidad en múltiples plataformas.

1.9.- COMUNICACIONES INDUSTRIALES [9]

1.9.1.- Introducción a las redes de campo

Redes de campo industriales, conocidas también como Bus I/O. Existen dos tipos de buses I/O; el bus de dispositivos y el bus de procesos. Las redes industriales o buses I/O permite a un PLC comunicarse con dispositivos de entrada y salida de manera similar a como en una red de área local, PCs o PLCs supervisores se comunican con PLCs individuales.

Una configuración descentraliza el control en un sistema para que los PLCs se encarguen de controlar partes de un todo, dando como resultado un sistema de control más grande y rápido. Rápido pues la información tenderá a viajar solamente hasta / desde un PLC. Poco tráfico será el que tenga que recorre muchos caminos en la red con lo que se optimiza el flujo de datos en la misma. La topología o arquitectura física de un bus I/O sigue la configuración de un bus o bus extendido, esto permite que dispositivos inteligente (interruptores de fin de carrera, fotoeléctricos y de proximidad) se conecten directamente sea a otro PLC o a una LAN. En estos buses se debe hacer notar una diferencia: el bus, a más de tener líneas para transmitir datos, puede también tener líneas de alimentación. La Figura 1.25 ilustra una conexión típica entre un PLC, una red de área local y un bus I/O.

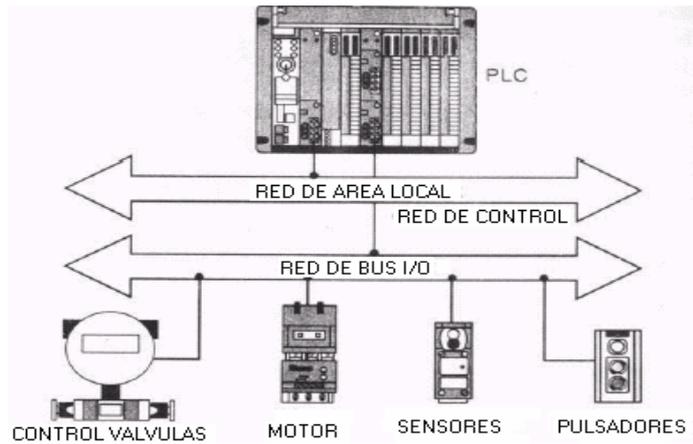


Figura 1.25 Conexión entre un PLC, una LAN y un Bus I/O

1.9.2.- Tipos de bus i/o en redes

Los buses I/O de redes pueden dividirse en dos diferentes categorías: una que tiene que ver con dispositivos de bajo nivel que son típicos de operación de manufactura discretas y los otros son dispositivos de alto nivel utilizados en procesos industriales.

Las categorías de los buses de red son:

- 1) Buses de dispositivos.
- 2) Buses de proceso.

Bus de Dispositivos.- Es la interfaz con los dispositivos de campo de bajo nivel (pulsadores, interruptores de fin de carrera, etc.), cuyo fin es proporcionar información respecto al estado de los dispositivos (ON/OFF) o al estado de operación (operación correcta / incorrecta). Estas redes generalmente transmiten solo desde unos pocos bits hasta varios bytes de datos en un determinado tiempo.

Bus de Proceso.- Por otro lado, estos buses se conectan a dispositivos de campo capaces de generar un alto nivel de información (válvulas de proceso inteligentes, medidores de nivel inteligentes, etc.), que típicamente se emplean en aplicaciones de control de procesos en donde se requiere un control más “fino” de sus variables. El bus de procesos maneja grandes lotes de datos (varias centenas de bytes), dando

información acerca del proceso, así como de los mismos dispositivos de campo (marca del equipo, fecha de último mantenimiento, etc.).

1.9.3.- Protocolos de los buses y redes de campo industriales

Ninguno de los dos buses I/O tienen un protocolo estándar; sin embargo algunas organizaciones están trabajando para desarrollar tanto especificaciones para los buses de dispositivos como de proceso.

En el área del bus de proceso dos organizaciones principales, la Fundación fieldbus (que es el resultado de la unión de la Fundación ISP y FIP) y la Organización de Comercio Profibus (bus de proceso inteligente) están trabajando para producir estándares para protocolos y redes industriales.

Otras organizaciones como la ISA y el IEC están también participando en el desarrollo de estos estándares. Esta es la razón por la que algunos fabricantes especifican que sus productos analógicos son compatibles con Profibus, Fieldbus u otro tipo de esquema de protocolo de comunicación.

La Figura 1.26 ilustra un diagrama de bloques de los protocolos disponibles.

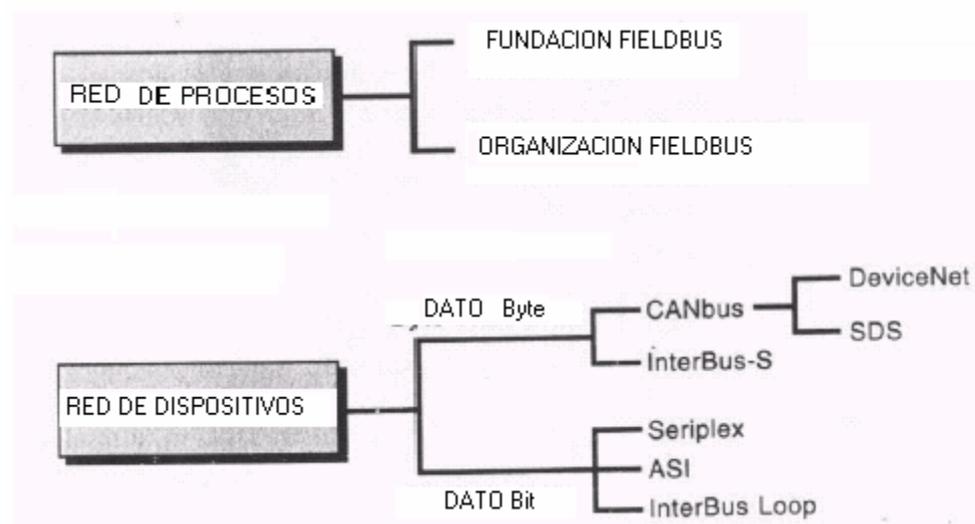


Figura 1.26 Estándares de protocolos

Tanto los buses de dispositivos como los de proceso transmiten su información de la misma manera; esto es, digitalmente. De hecho, la necesidad de la comunicación digital fue uno de las mayores razones para el establecimiento de las redes industriales. La comunicación digital es la que permite que más de un dispositivo pueda conectarse a un mismo medio y compartirlo debido a la capacidad de direccionamiento que ofrecen y a que los nodos involucrados sean capaces de reconocer los datos. Por otro lado, los datos digitales son menos propensos a sufrir de distorsión producto de la EMI o RFI.

También, los PLC's pueden transmitir datos digitales sin tener que convertirlos a análogos y viceversa. De esta manera hay menos errores asociados a la conversión A/D y D/A. Por último otra de las grandes ventajas tiene que ver con la enorme reducción de cableado al no tener que conectar los dispositivos de campo con cables de conexión individuales.

1.9.4.- Profibus

La base de la especificación del estándar PROFIBUS (PROcess Field BUS) fue un proyecto de investigación (1987-1990) llevado a cabo por los siguientes participantes: ABB, AEG, Bosch, Honeywell, Moeller, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-cumulus, Schleicher, Siemens y cinco institutos alemanes de investigación. Hubo además un pequeño apoyo por parte del gobierno alemán. El resultado de este proyecto fue el primer borrador de la norma DIN 19245, el estándar Profibus, partes 1 y 2. La parte 3, Profibus-DP, se definió en 1993.

Existen tres variantes principales de PROFIBUS de acuerdo a las características de la aplicación, tal como se muestra en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Familia PROFIBUS

<p>Automatización de fábricas</p> <p>PROFIBUS DP</p> <p>(DIN 19245 T1 + T3)</p> <p>pr EN 50170</p> <p>Alta velocidad de transferencia de data para periféricos descentralizados</p>	<p>Automatización para propósitos generales</p> <p>PROFIBUS FMS</p> <p>(DIN 19245 T1 + T2)</p> <p>pr EN 50170</p> <p>Perfiles de aplicación específicos:</p> <p>Maquinas textiles Automatización de edificios Drivers, sensores y actuadores, PLCs, Switch gear debajo voltaje</p>	<p>Automatización de procesos</p> <p>PROFIBUS PA</p> <p>(DIN 19245 T4)</p> <p>en preparación</p> <p>Técnicas de transmisión con seguridad intrínseca de acuerdo a IEC 1158-2</p>
--	--	---

En la Figura 1.27 se muestra como se conectan y relacionan estas redes de la familia Profibus.

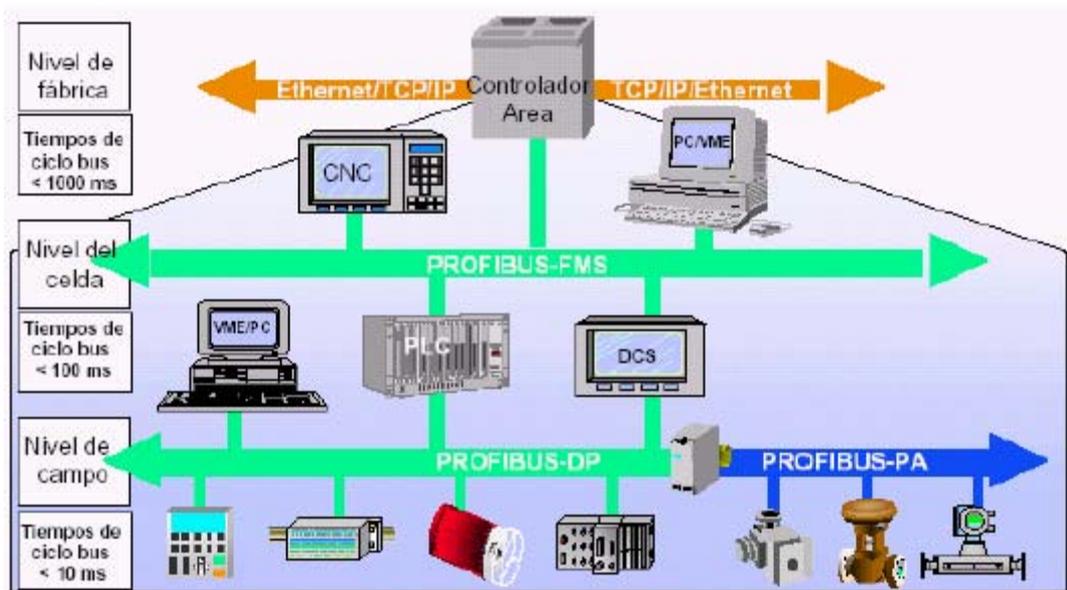


Figura 1.27 Jerarquía de la Red Profibus

1.9.5.- Profibus-DP

Esta es la versión de desempeño optimizado de la red PROFIBUS, dedicado específicamente a comunicaciones de tiempo crítico entre sistemas de automatización y periféricos distribuidos.

Es apropiado como un reemplazo del costoso cableado paralelo de 24 Vdc y 4 a 20 mA utilizado en medición de señales. PROFIBUS DP está basado en la parte 1 de la norma DIN 19245 y ha sido mejorado con funciones de comunicación efectivas para el propósito requerido. Ha estado disponible como Normativa Alemana DIN 19245 parte 3 desde 1993. PROFIBUS DP está incluida en la Norma de Fieldbus Europea (European Fieldbus Standard) parte EN 50170.

1.9.5.1. Configuración Profibus-DP

- Maestro (Figura 1.28).
- Un sistema típico PROFIBUS-DP consiste en:
- Un PLC o PC como sistema de control.
- Varios dispositivos E/S como:
- E/S digitales o analógicas.
- Accionamientos AC o DC.
- Válvulas magnéticas o neumáticas.

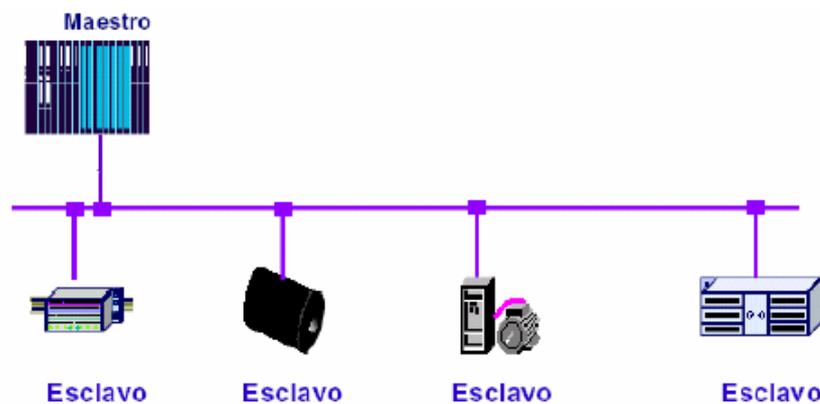


Figura 1.28 Configuración PROFIBUS DP

1.9.5.2.- Capa Física de Profibus

El área de aplicación de un sistema de bus de campo es afectado sustancialmente por la selección del medio físico de transmisión y la interfaz al bus físico. En adición a los requerimientos para integridad de los datos, el costo de provisión e instalación del cableado es de un significado crítico. Por consiguiente, la norma PROFIBUS define un protocolo único de acceso al medio para diferentes técnicas de transmisión:

1.9.5.3.- Componentes disponibles para Profibus.

Se muestra en la Figura 1.29.



Figura 1.29 Componentes PROFIBUS

1.9.5.4.- Cables para Profibus

- Alambre de cobre: Esta versión es definida como la versión básica de la técnica de transmisión para aplicación en fabricación, construcción, automatización y control de drivers de acuerdo a la normativa americana EIA RS-485. Esta usa un cable par trenzado con blindaje opcional. Están disponibles dos versiones de cables con máximas distancias distintas.
- Ahorro de tiempo mediante un rápido y fácil montaje de los conectores con cables FastConnect.
- Para diferentes aplicaciones a través de cables de bus especiales.

- Red insensible a interferencia – mediante doble apantallado – concepto de tierra universal.
- Cable de bus para sistemas de bus según IEC 61158- 2, p.e. PROFIBUS-PA.
- Distintas variantes para diferentes aplicaciones (Ex, No Ex).
- Alta seguridad ante interferencias mediante un buen apantallamiento.
- Fácil estimación de longitud mediante marcación por metros.

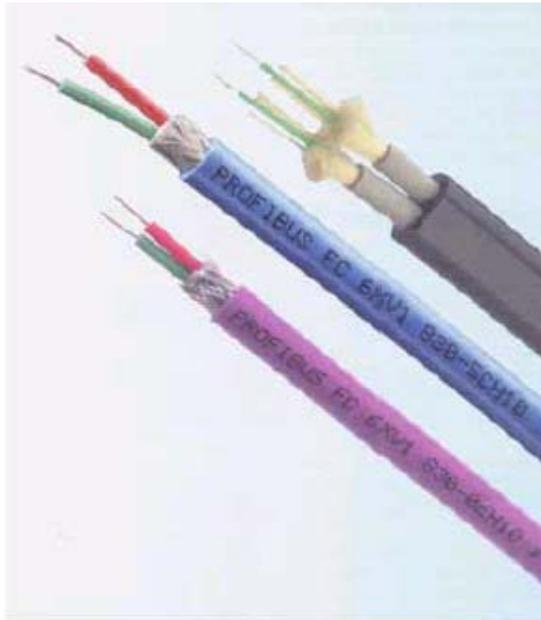


Figura 1.30 Cables para Profibus

1.9.5.5.- Cable de conexión profibus

- Cable preconfeccionado para una rápida y barata conexión de participantes de PROFIBUS a OLM's o a OBT's.
- Cable preconfeccionado para la conexión de participantes PROFIBUS (p.e. HMI) a los equipos de automatización.
- Posibilidad de conexión a PC.
- Terminales de bus.
- Cable de conexión 830-1 T.
- Cable de conexión 830-2.



Figura 1.31 Conectores bus para PROFIBUS

La Fibra óptica: PNO (Profibus User Organization/Organización de Usuarios de PROFIBUS) está preparando la especificación de una técnica de transmisión por fibra óptica de manera de ampliar la longitud del bus y lograr altas velocidades de transmisión, y para ser usado en aplicaciones en ambientes con alta distorsión. Esta aplicación está disponible como una propuesta en el manual de PNO. Además se dice que las Técnicas inalámbricas, están basadas en la radiación infrarroja.

1.10.- ACTUADORES [10]

Los actuadores son unidades controladas, que tienen como misión general el movimiento de los elementos de control final de un proceso industrial según las ordenes dadas por una unidad de control.

Las características a considerar entre los diversos tipos de actuadores, son entre otras:

- Potencia.
- Controlabilidad.

- Peso y volumen.
- Precisión.
- Velocidad.
- Mantenimiento.
- Costo.

Los actuadores se clasifican en tres grandes grupos, según el tipo de energía que utilizan:

- 1) Neumáticos.
- 2) Eléctricos.
- 3) Hidráulicos.

Los actuadores neumáticos, utilizan el aire comprimido como fuente de energía y son muy indicados en el control de movimientos rápidos, pero de precisión limitada.

Los motores hidráulicos son recomendables en los manipuladores que tienen una gran capacidad de carga, junto a una precisa regulación de velocidad.

Los motores eléctricos son los más utilizados, por su fácil y preciso control, así como por otras propiedades ventajosas que establecen su funcionamiento, como consecuencia del empleo de la energía eléctrica.

1.10.1.- Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos utilizan muchas leyes físicas, que describen la relación entre el incremento de presión en los fluidos y la distribución de fuerza para mover objetos igual que los actuadores hidráulicos. Tanto los gases como los líquidos son fluidos, sin embargo los gases son compresibles y los líquidos no. La diferencia principal entre los sistemas neumáticos y los hidráulicos es que los actuadores neumáticos usan aire en vez de un líquido para el suministro de fuerza. Algunas características atractivas de los actuadores neumáticos son:

- Los sistemas neumáticos son menos caros que los sistemas hidráulicos.
- El aire comprimido es menos peligroso que algunos tipos de fluidos hidráulicos; en particular, algunos aceites que son inflamables.
- Los sistemas neumáticos son más robustos que sus contrapartes hidráulicas.
- En un sistema neumático es tolerable una fuga pequeña sin pérdida de funcionalidad.
- Por su naturaleza, la compresibilidad del aire puede ser ventajosa. Por ejemplo, algunas puertas se operan neumáticamente con tal de evitar el aplastamiento de alguien que no lograra terminar de cruzarla cuando ésta se cierre.
- Los controles neumáticos son rápidos en su respuesta, dado que una masa de aire se puede mover rápidamente.

Los controles neumáticos también tienen algunas desventajas:

- Los controles neumáticos no pueden producir las mismas fuerzas que los controles hidráulicos.
- Es más difícil lograr un posicionamiento preciso de objetos empleando actuadores neumáticos, particularmente si el objeto a trasladar se incrementa en peso, dado que cualquier peso adicional pudiera comprimir más el aire.

Por estas razones, los actuadores neumáticos normalmente solo se usan como los dispositivos de manipulación más simples para tomar y colocar objetos, y como efectores de sujeción.

Existen dos tipos de actuadores neumáticos, los que generan movimientos rectilíneos y los que generan movimientos giratorios.

Los tipos de actuadores neumáticos de movimiento rectilíneo son:

a) Cilindro de Simple Efecto.

En estos cilindros (Figura 1.32) se aplica aire comprimido por una sola cámara. Una vez expulsado el aire de la cámara, el vástago vuelve a su posición inicial por medio de un muelle de retroceso incorporado, a una velocidad suficientemente grande. En los cilindros de simple efecto con muelle, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no sobrepasan una carrera de unos 100 mm. Se utilizan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar, alimentar, etc.

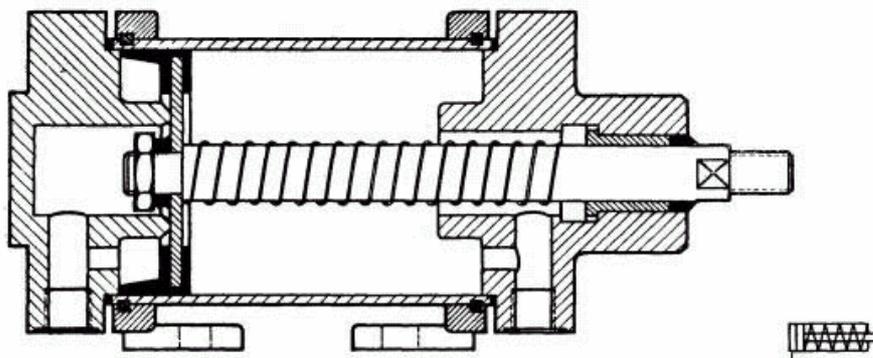


Figura 1.32 Cilindro de Simple Efecto

b) Cilindro de Doble Efecto.

Con estos cilindros (Figura 1.33), tanto el avance como el retorno del émbolo se efectúa con aire comprimido. Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. También en este caso, sirven de empaquetadura los labios y émbolos de las membranas.

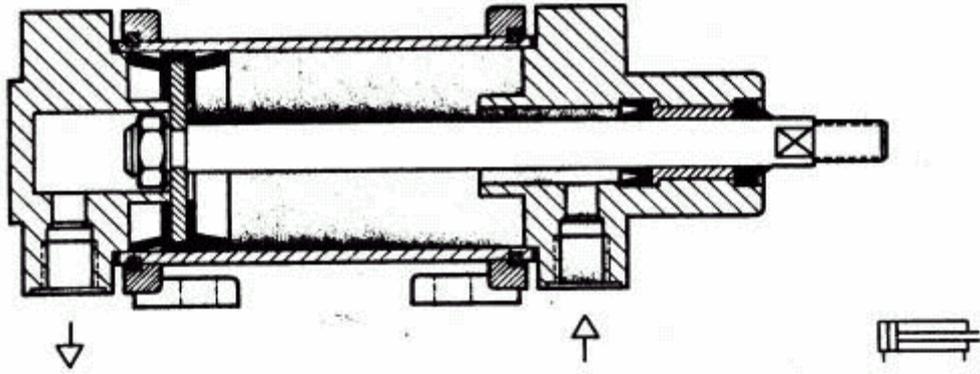


Figura 1.33 Cilindro de Doble Efecto

c) Cilindros Giratorios.

Con estos cilindros, se convierte el movimiento lineal en circular oscilante, por medio de un dispositivo mecánico. En esta ejecución de cilindro de doble efecto, el vástago es una cremallera que acciona un piñón y transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio hacia la izquierda o hacia la derecha, según el sentido del émbolo. Los ángulos de giro corrientes pueden ser de 45° , 90° , 180° , 290° hasta 720° . Es posible determinar el margen de giro dentro del margen total por medio de un tornillo de ajuste.

El par de giro es función de la presión, de la superficie del émbolo y de la desmultiplicación. Los accionamientos de giro se emplean para voltear piezas, doblar tubos metálicos, regular acondicionadores de aire, accionar válvulas de cierre, válvulas de tapa, etc.

1.10.2.- actuadores eléctricos

Las máquinas eléctricas sirven para transformar la energía mecánica en eléctrica (generadores) o, inversamente, para transformar la energía eléctrica en mecánica (motores); es decir que las máquinas eléctricas son reversibles y pueden trabajar como generador o como motor.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

a) Motores de corriente continua (dc)

- Controlados por inducción.
- Controlados por excitación.

b) Motores de corriente alterna (ac)

- Síncronos.
- Asíncronos.

c) Motores paso a paso

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y DISEÑO

El sector industrial del país experimenta actualmente un estado de transición tecnológica para alcanzar la automatización de sus procesos de producción realizado por máquinas. Lejos de analizar la conveniencia o no de la automatización de máquinas industriales, que más bien es producto de un análisis de Gerencia, la factibilidad de ejecutar la automatización de una máquina industrial, reviste dos opciones:

a) Update: Entendido como el proceso de automatización de la máquina, sin mayores cambios de hardware, centrandó su objetivo más bien en la actualización de componentes, y en el caso del o los PLC's, que son el actor principal, significa actualizar el firmware, o cambios en el software de aplicación.

b) Upgrade: Es un proceso de automatización más completo, que implica cambios más radicales en hardware, cambios en las técnicas de control, tales como: incluir PLC's en lugar de relés electromecánicos o sistemas neumáticos.

El propósito de ambas acciones será reutilizar la máquina y alargar su vida útil.

Desde el punto de vista de los autores, para cualquiera de las acciones de automatización: Update o Upgrade, se propone el siguiente proceso:

- a) Identificación del problema.
- b) Selección de la plataforma de automatización.
- c) Análisis y Diseño
- d) Montaje e Instalaciones Industriales.
- e) Puesta en Marcha.

2.1.- ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

Por aspectos de homologación tecnológica de la empresa, entendido como la estandarización de plataformas de control, que permitan el mejor desempeño para las tareas de mantenimiento, el proceso de automatización a seguir, se considera de la siguiente manera:

1. Upgrade de los DRIVES. De acuerdo a los lineamientos de la empresa se optó por la plataforma Siemens Simoreg DC Master. Este proceso es uno de los más importantes, porque consiste en analizar los drives (Veritron-ABB) y a la vez el modulo electrónico que los maneja (MOVIMAT) los mismos que quedarán fuera de servicio, para esto se debe interpretar, rediseñar y optimizar lazos de control de velocidad de acuerdo a las condiciones de servicio.
2. Reemplazo total de los tres drives Veritron ABB e implementación de un drive para manejar el rodillo calander, los cambios e implementación serán realizados por drives programables, haciendo de esta manera un control mas seguro y eficiente, para así incrementar la funcionalidad y la producción de las maquina, reduciendo así tiempos perdidos por dificultad de mantenimiento.
3. Upgrade del PLC. De acuerdo a los lineamientos de la empresa se optó por la plataforma Siemens Simatic S7-300. Este proceso es importante, porque consiste en analizar toda la lógica de control.
4. Reemplazo total de una tecnología basada en una lógica de relés por un PLC. Este es un proceso importante ya que se implementa un control más seguro y eficiente, para incrementar la funcionalidad y la producción de las máquinas, reduciendo así los tiempos perdidos por la dificultad del mantenimiento correctivo.
5. Reutilización de tableros, sensores, micro-swichts, actuadores y demás componentes eléctricos y electrónicos que satisfagan los requisitos técnicos.
6. Implementación de controles de velocidad a través de variadores de velocidad para cada uno de los cuatro motores de corriente continúa.

7. Diseño de un sistema de visualización de alarmas que faciliten el mantenimiento y reparación de la máquina reduciendo los tiempos perdidos.
8. Generar la documentación técnica necesaria: planos eléctricos, respaldo de los programas tanto del PLC como de los DRIVES, y listados de parámetros primordiales de los variadores de velocidad.

2.2.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

Para la realización del proyecto, los autores han estimado conveniente plantear la solución del problema, representado en el siguiente diagrama de bloques.

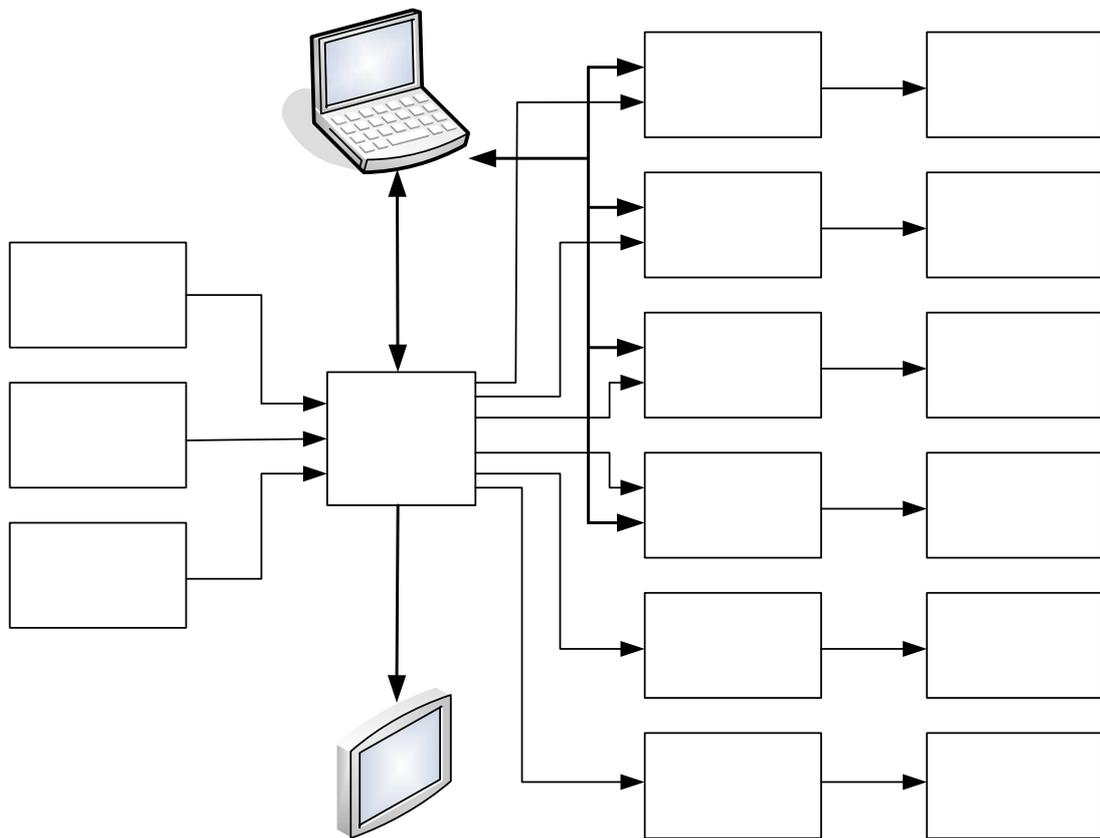


Figura. 2.1 Diagrama de bloques del sistema.

B1.- Representa al PLC que se emplea en el proyecto. Por cuestiones de homologación tecnológica¹ se utiliza la plataforma escalable Siemens Simatic S7-300. Este se encargará de controlar el funcionamiento de la máquina rebobinadora Rewinder 5 con los estados provenientes de las señales que ingresan al mismo, gestionar las alarmas y comunicar el estado del proceso a un Panel de Operación o pantalla (OP).

B2.- Sensor fotoeléctrico. Sensor de seguridad primordial para que no se produzcan accidentes cuando alguna persona se halla en el lugar donde baja la mesa pasabobinas, la cual sirve para bajar la bobina rebobinada de la máquina.

B3.- Finales de carrera. Son elementos mecánicos que se utiliza en la máquina debido a que la mayoría de lugares son altamente riesgosos. Son de 2 hilos y la información se utiliza como fue diseñada la máquina a una señal de 220Vac.

B4.- Botoneras. Son el conjunto de pulsadores de marcha y paro, con contactos normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC), respectivamente; y los interruptores de seguridad o paradas de emergencia, que permiten la operación de la máquina.

B5.- Variador de velocidad del motor de la bobina madre de la máquina. Con este se controla la velocidad de la máquina desde el reposo a la velocidad nominal del motor.

B6.- Motor de la bobina madre de la máquina. Es un motor de corriente continua de excitación independiente, que son los más comunes en la industria papelera. Para el presente proyecto se utiliza el motor que se encontraba operando con el variador de velocidad antiguo.

B7.- Variador de velocidad del motor de la bobina 1 de la máquina. Con este se controla la velocidad del mismo desde el reposo a la velocidad nominal del motor.

B8.- Motor de la bobina 1 de la máquina. Es un motor de corriente continua de excitación independiente, que son los más comunes en la industria papelera. Para el

¹ Las máquina, especialmente el diseño mecánico son de tecnología alemana, los PLC's adoptados como estándar son de la familia Simatic S7-300 de Siemens.

presente proyecto se utiliza el motor que se encontraba operando con el variador de velocidad antiguo.

B9.- Variador de velocidad del motor de la bobina 2 de la máquina. Con este se controla la velocidad del mismo desde el reposo a la velocidad nominal del motor.

B10.- Motor de la bobina 2 de la máquina. Es un motor de corriente continua de excitación independiente, que son los más comunes en la industria papelera. Para el presente proyecto se utiliza el motor que se encontraba operando con el variador de velocidad antiguo.

B11.- Variador de velocidad del motor del rodillo calander de la máquina. Con este se controla la velocidad del mismo desde el reposo a la velocidad nominal del motor.

B12.- Motor del rodillo calander de la máquina. Es un motor de corriente continua de excitación independiente, que son los más comunes en la industria papelera. Para el presente proyecto se deberá seleccionar el motor adecuado que cumpla con los requerimientos del sistema.

B13.- Contactores y relés. Aún cuando en un proceso de automatización industrial, se reduce a la mínima expresión el uso de relés o contactores, estos son imprescindibles para comandar a los elementos de fuerza de la máquina.

B14.- Corresponde al conjunto de motores que en su mayoría son asíncronos de corriente alterna, se utiliza para la ventilación externa de los motores de corriente continua, así como también para el centrado de hoja de las bobinas 1 y 2.

B15.- Representa al juego de electroválvulas que comandan a los actuadores neumáticos.

B16.- Corresponde al grupo de cilindros neumáticos, que permiten realizar el proceso de rebobinado, aseguramiento de ejes, bajar bobinas de la máquina.

B17.- Es la representación de una PC convencional o de una computadora propietaria de Siemens, denominada PG (Unidad de Programación). A través de ésta, con el empleo del software STEP 7², se puede entre otras cosas: configurar el hardware, programar y monitorear en línea al PLC, simular un programa, configurar una red, etc. También con la PC y con el empleo del software DRIVE MONITOR³, se puede entre otras cosas: configurar, programar y monitorear en línea a los DRIVES que manejan a los motores de corriente continua.

Con la PC y con el empleo del software PROTOOL⁴ se podrá configurar y programar el panel de operación (OP).

B18.- Es el panel de operación donde se visualiza el estado de funcionamiento de los sensores y actuadores de la máquina, así como también, alertará cuando se produzca un evento de alarma y detallará el sitio donde se origina el mismo. La comunicación con el PLC se realizará a través del puerto de comunicación MPI.

2.3.- SELECCIÓN DE COMPONENTES

Uno de los aspectos fundamentales en el proceso de automatización es el óptimo proceso de diseño y selección de componentes, que se ajusta a parámetros técnicos, económicos, disponibilidad en el mercado, tiempos de retardo en la importación (si fuere el caso), etc.

Para los fines de una mejor identificación y codificación de los componentes, se asigna la nomenclatura que se empleará posteriormente en los planos definitivos del proyecto. Ver anexo B, Planos eléctricos

2.3.1.- Selección de motores eléctricos

La primera fuente de movimiento mecánico son los motores eléctricos ya que en la industria, son los actuadores más empleados e importantes. El proceso de selección de un motor conlleva aspectos tales como: características de accionamiento; aspectos

² Software propietario de Siemens

³ Software propietario de Siemens

⁴ Software propietario de Siemens

constructivos; potencia, calentamiento y refrigeración; medio ambiente; sistema aislante; aspectos de instalación; aspectos de mantenimiento y protecciones.

En la selección de motores se procedió a reutilizar todos ya que se encontraban en perfecto funcionamiento y a seleccionar dos, debido a que se trata de un proceso de Upgrade, en éste caso se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- Potencia y dimensiones mecánicas requeridas
- Tensión y frecuencia de alimentación
- Velocidad requerida
- Tipo de mando

A continuación se detalla las características de los motores de la máquina RW5 los mismos que fueron mencionados brevemente en la Tabla 1.1:

2.3.1.1.- Motor de la bobina madre (RW5-M01)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	BBC	Potencia mecánica	38.2KW
Potencia	38.2KW	Tensión de armadura y excitación	400V/220V
Voltaje de Armadura	400V	Velocidad requerida	936 rpm
Corriente de Armadura	109ª	Tipo de mando	Conversor
Voltaje de Excitación	220V		
Corriente de Excitación	6.6V		
Velocidad	936 rpm		

2.3.1.2.- Motor de la bobina 1 (RW5-M02)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	BBC	Potencia mecánica	16.3KW
Potencia	16.3KW	Tensión de armadura y excitación	400V/220V
Voltaje de Armadura	400V	Velocidad requerida	1016 rpm
Corriente de Armadura	49A	Tipo de mando	Conversor
Voltaje de Excitación	220V		
Corriente de Excitación	6.6V		
Velocidad	1016 rpm		

2.3.1.3.- Motor de la bobina 2 (RW5-M03)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	BBC	Potencia mecánica	16.3KW
Potencia	16.3KW	Tensión de armadura y excitación	400V/220V
Voltaje de Armadura	400V	Velocidad requerida	1016 rpm
Corriente de Armadura	49A	Tipo de mando	Convertor
Voltaje de Excitación	220V		
Corriente de Excitación	6.6V		
Velocidad	1016 rpm		

2.3.1.4.- Motor del rodillo calander (RW5-M04)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca*	BBC	Potencia mecánica	170KW
Potencia	170KW	Tensión de armadura y excitación	400V/220V
Voltaje de Armadura	470V	Velocidad requerida	1950 rpm
Corriente de Armadura	392A	Tipo de mando	Convertor
Voltaje de Excitación	220V		
Corriente de Excitación	6.6V		
Velocidad	1950 rpm		

* Motor seleccionado.

2.3.1.5.- Motor ventilador del motor de la bobina madre (RW5-M05)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	BBC	Potencia mecánica	0.75 KW
Potencia	0.75 KW	Tensión y frecuencia	440V / 60Hz
Voltaje	220/380 V	Velocidad requerida	2830 rpm
Corriente	3.1/1.8 A	Tipo de mando	Arranque directo
Frecuencia	50 Hz		
Fp	0.7		
Velocidad	2830 rpm		

2.3.1.6.- Motor ventilador del motor de la bobina 1 (RW5-M06)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	FILLI FERRAR	Potencia mecánica	0.75 KW
Potencia	0.75 KW	Tensión y frecuencia	440V / 60Hz
Voltaje	220/380 V	Velocidad requerida	2820 rpm
Corriente	2.2/1.3 A	Tipo de mando	Arranque directo
Frecuencia	50 Hz		
Fp	0.85		
Velocidad	2820 rpm		

2.3.1.7.- Motor ventilador del motor de la bobina 2 (RW5-M07)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	FILLI FERRAR	Potencia mecánica	0.75 KW
Potencia	0.75 KW	Tensión y frecuencia	440V / 60Hz
Voltaje	220/380 V	Velocidad requerida	2820 rpm
Corriente	2.2/1.3 A	Tipo de mando	Arranque directo
Frecuencia	50 Hz		
Fp	0.85		
Velocidad	2820 rpm		

2.3.1.8.- Motor ventilador del motor del rodillo calander (RW5-M08)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca*	SIEMENS	Potencia mecánica	1.75 KW
Potencia	1.75 KW	Tensión y frecuencia	440V / 60Hz
Voltaje	460	Velocidad requerida	3460 rpm
Corriente	3.35A	Tipo de mando	Arranque directo
Frecuencia	60 Hz		
Fp	0.83		
Velocidad	3460 rpm		

* Motor seleccionado.

2.3.1.9.- Motor centrador de hoja de la bobina 1 (RW5-M09)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	SEW-EURODRIVE	Potencia mecánica	0.75 KW
Potencia	0.75 KW	Tensión y frecuencia	440V / 60Hz
Voltaje	220/380	Velocidad requerida	1400 rpm
Corriente	4,05/2,35	Tipo de mando	Arranque directo
Frecuencia	60 Hz		
Fp	0.7		
Velocidad	1400 rpm		

2.3.1.10.- Motor centrador de hoja de la bobina 2 (RW5-M10)

DATOS DE PLACA DEL MOTOR		CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS	
Marca	SEW-EURODRIVE	Potencia mecánica	0.75 KW
Potencia	0.75 KW	Tensión y frecuencia	440V / 60Hz
Voltaje	220/380	Velocidad requerida	1400 rpm
Corriente	4,05/2,35	Tipo de mando	Arranque directo
Frecuencia	60 Hz		
fp	0.7		
Velocidad	1400 rpm		

2.3.2.- SELECCIÓN DE SENSORES

En un proceso industrial, la selección adecuada de los equipos, y de forma particular de los sensores, es un paso trascendental, puesto que definirá el buen funcionamiento del proceso y fundamentalmente garantiza la seguridad de las personas, que es el factor más importante.

En el presente proyecto, la mayor cantidad de sensores son discretos y determinan precisamente las diferentes secuencias de operación y órdenes de parada de la máquina.

Para la tarea de selección de sensores discretos, se va contestando y solventado las interrogantes y requerimientos de la aplicación, de acuerdo a los siguientes puntos:

1. Presencia/Ausencia (Proximidad)

- Hay objeto o no.
- El objeto está en posición.
- Detección de nivel.
- Detección de marcas (taca).

2. Medición e Inspección

- Distancia.
- Tamaño.
- Transparencia, reflectividad.
- Discriminación de color.

3. Características del objeto.

- Tamaño.
- Rango.
- Velocidad.
- Movimiento entre el sensor y el objeto.
- Forma.
- Acabado superficial.
- Translucidez.
- Tipo de material.

4. Requerimientos funcionales.

- Tamaño del sensor.
- Alimentación.
- Tipo de salida.
- Tiempo de respuesta.
- Diagnósticos.
- Temporizador.

- Activo con o sin luz. NO o NC.
- Ajuste de sensibilidad.

5. Características ambientales.

- Contaminación del aire.
- Temperatura.
- Choques, vibración.
- Inmersión en el agua.
- Peligrosidad.

6. Requerimientos del servicio.

- Ajustabilidad.
- Salidas reemplazables.
- Desconexión rápida.

7. Montaje Físico.

- Espacio restringido.
- Mordazas, soportes, abrazaderas.
- Pre-cableado o cable-conector.

2.3.2.1.- Sensores fotoeléctricos

Para los sensores fotoeléctricos que se utilizaron en la máquina se han tomado en cuenta los siguientes aspectos en su selección:

- a) Tensión de alimentación
- b) Corriente de consumo
- c) Configuración de salida
- d) Conectores utilizados

La tabla 2.1 especifica los parámetros del único sensor fotoeléctrico con el que dispone la máquina:

Tabla 2.1 Resultados del proceso de selección de los sensores

SENSOR	Tensión de alimentación	Corriente de consumo	Distancia de sensado	Configuración de salida
Presencia de persona para mesa pasabobinas	220 Vac	40 mA	0 a 3 m	Contacto seco

2.3.2.2.- Botoneras y parada de emergencia

Corresponde a la serie de pulsadores de marcha y paro, interruptores, selectores y parada de emergencia que permiten la operación de la máquina por parte del operador o del personal de mantenimiento.

Los parámetros de diseño considerados son:

- a) Contacto
- b) Accionamiento

En la tabla 2.2 se muestra los parámetros para las botoneras y parada de emergencia diseñados:

Tabla 2.2 Resultados del proceso de selección de los sensores

BOTONERA	Accionamiento	Contacto
Pulsante que habilita el circuito de control	Pulsante	NC
Pulsante que deshabilita circuito de control	Pulsante	NO
Interruptor de seguridad de circuito de control	Manual sin retorno autom.	NO
Interruptor que habilita voltaje de control	Manual sin retorno autom.	NO
Pulsante de marcha lenta	Pulsante	NO
Pulsante de marcha normal	Pulsante	NO
Pulsante de paro normal	Pulsante	NC
Pulsante de parada de emergencia principal	Pulsante tipo hongo	NC
Pulsante de parada de emergencia en la máquina	Pulsante tipo hongo	NC
Pulsante de parada de emergencia extractor ejes	Pulsante tipo hongo	NC
Interruptor que habilita D.B.1	Manual sin retorno autom.	NO
Interruptor de cambio de giro D.B.1	Manual sin retorno autom.	NO
Interruptor que habilita D.B.2	Manual sin retorno autom.	NO
Interruptor de cambio de giro D.B.2	Manual sin retorno autom.	NO
Selector de comprobación de lámparas	Manual con retorno autom.	NO
Selector de reset de alarmas	Manual con retorno autom.	NO
Pulsante para abrir la banana de la B1	Pulsante	NO
Pulsante para cerrar la banana de la B1	Pulsante	NO
Pulsante para abrir la banana de la B2	Pulsante	NO
Pulsante para cerrar la banana de la B2	Pulsante	NO
Pulsante para reset de alarmas reconocidas de la BM	Pulsante	NC
Pulsante para reset de alarmas reconocidas de la B1 y B2	Pulsante	NC
Pulsante para centrar la hoja B1 derecha-torre	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B1 izquierda-torre	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B1 derecha-tablero operador	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B1 izquierda-tablero operador	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B2 derecha-torre	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B2 izquierda-torre	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B2 derecha-tablero operador	Pulsante	NO
Pulsante para centrar la hoja B2 izquierda-tablero operador	Pulsante	NO

2.3.2.3.- Finales de carrera

Dentro del proceso de la máquina se utilizan interruptores electromecánicos conocidos como finales de carrera cuya función es detectar la apertura / cierre de cubiertas, y el accionamiento de embragues de seguridad en la máquina. Los datos técnicos considerados para los mismos son:

- a) Tipo de accionamiento mecánico
- b) Contacto

En la tabla 2.3 se resume los resultados del proceso de selección.

Tabla 2.3 Resultados del proceso de selección de los finales de carrera

FINAL DE CARRERA	Nomenclatura	Tipo de accionamiento mecánico	Contacto
Stop normal	HB28.N1-S11	Tensión	NC
Freno neumático motor BM	HB41.N1-S15	Embolo con rodillo	NO
Seguridad de la banda B1	BD11.N1-S16	Palanca	NO
Seguridad de la banda B2	BD21.N1-S16	Palanca	NO
Freno neumático motor B1	BQ01.N1-S15	Embolo con rodillo	NO
Freno neumático motor B2	BQ11.N1-S15	Embolo con rodillo	NO
Agarrador de ejes *	HL44.N1-S27	Embolo con rodillo	NC
Diámetro máximo BM	HL44.N1-S15	Embolo con rodillo	NC
Seguridad mesa pasa bobinas	HR41.N1-S15	Palanca	NO
Centrador B1 a la derecha	BD10.N1-S15	Palanca	NC
Centrador B1 a la izquierda	BD10.N1-S16	Palanca	NC
Centrador B2 a la derecha	BD20.N1-S15	Palanca	NC
Centrador B2 a la izquierda	BD20.N1-S16	Palanca	NC

* Representa a dos finales de carrera idénticos

2.3.2.4.- Presóstatos

La máquina utiliza dos presóstatos, uno para detectar la presión neumática mínima de entrada y el otro para detectar la presión neumática mínima para funcionamiento de las cuchillas cuando se realiza tortas para servilletas. Las características técnicas de los presóstatos son:

- a) Rango de presión
- b) Contactos
- c) Conector para presión

Dentro de la tabla 2.4 se colocan los parámetros de los presóstatos utilizados:

Tabla 2.4 Resultados del proceso de selección de los presóstatos

PRESÓSTATOS	Nomenclatura	Rango de presión	Contacto	Conector para presión
Presóstato de aire de la máquina	HA10.N1-F1	0-150 PSI	N.O.	½ plg
Presóstato de aire para las cuchillas	HH81.N1-F1	0-150 PSI	N.O.	½ plg

2.3.3.- Selección de variadores de velocidad

La selección del variador de velocidad es directamente dependiente de los parámetros eléctricos de los motores empleados, los mismos que se mencionó en el ítem 2.3.1.

A mas de los parámetros de los motores, se tomó en cuenta que para esta aplicación se requiere ajustar la velocidad a través de una señal analógica de un potenciómetro, desde 0 a la velocidad nominal del motor de la bobina madre, y la velocidad de los tres motores restantes serán manejados por señales analógicas provenientes del drive del motor de la bobina madre. Esta aplicación también requiere mejorar el tensado de hoja a través de una señal analógica de un potenciómetro, esto en cuanto a las velocidades de los motores de la bobina 1 y bobina 2. A más del control de velocidad se requiere de protecciones contra sobrecarga, sobrevelocidad y pérdida de fase.

Para tener una total homologación de tecnología se seleccionó el mismo tipo de variador de velocidad de DC para cada uno de los cuatro motores que abarca la máquina RW5.

Analizando las ofertas disponibles en el mercado y el historial de desempeño de equipos similares, para tener una técnica más eficiente del control de velocidad de un motor de corriente continua se optó por los variadores SIEMENS SIMOREG DC MASTER 6RA7075-6FV62-0-Z, codificación que se detalla en la figura 2.2 y cuyas características técnicas se encuentran en el anexo A, Hojas de especificaciones Técnicas. En la tabla 2.5 se indican los resultados del proceso de selección:

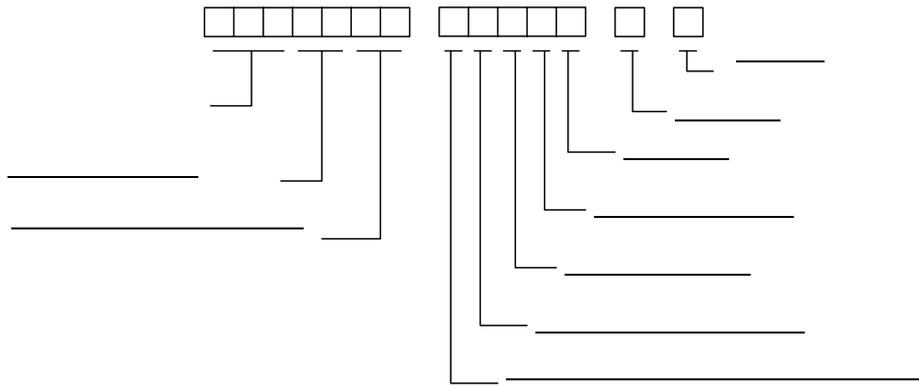


Figura 2.2 Codificación de referencia del Drive Simoreg

Tabla 2.5 Resultados del proceso de selección de los variadores de velocidad para los motores de DC de la máquina RW5

Tensión asignada de acometida inducido	V	3AC 460 (+15% / -20%)
Corriente de entrada asignada inducido	A	MLFB: 175
Tensión asignada de acometida /parte electrónica	V	2AC 380 (- 25%) a 460 (+15%); In=1A ó
Tensión asignada de acometida del circuito de excitación	V	1AC 190 (- 25%) a 230 (+15%) / In=2A 2AC 460 (+15% / -20%)
Frecuencia asignada	Hz	45 a 65 (10)
Tensión asignada c.c.	V	480
Corriente asignada c.c.	A	Autoventilación:Tem
Potencia asignada	KW	ambiente+45°C
Tensión continua asignada del circuito de excitación	V	Más 375 75: 190.....215
Corriente continua asignada Campo (exc.)	A	>=15
Entradas analógicas referencia de consigna	Un	3
Entradas de taco/encoger	Un	2
Salidas analógicas	Un	4
Entrada digital	Un	2
Entradas digitales programables	Un	10
Salidas digitales programables	Un	4
Salida digital a relé	Un	1
Entrada analógicas programables	Un	2

2.3.4.- Selección de contactores y guardamotores

Del análisis preliminar del estado de la máquina, se determinó que la gran mayoría de contactores y guardamotores existentes en los tableros de control se pueden reutilizar. Por homologación tecnológica, la tensión de mando para las bobinas de los contactores es de 220 VAC, y que en el caso de esta máquina serán activados por los módulos de salida discreta del PLC.

Los parámetros considerados para la selección de los contactores son:

- a) Voltaje y frecuencia de la bobina
- b) Voltaje y corriente de los contactos
- c) Potencia Trifásica Nominal

Para los guardamotores, que son dispositivos de protección eléctrica contra sobrecarga y sobrecorriente, los parámetros de selección son los siguientes:

- a) Rango de corriente nominal
- b) Corriente de cortocircuito
- c) Contacto auxiliar

En las tablas 2.6 y 2.7 se indican los resultados del proceso de selección de los componentes en mención:

Tabla 2.6 Resultados del proceso de selección de los contactores

Contactor	Bobina		Contactos principales		
	Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	Tensión (Vac)	Corriente (A)	Potencia (Kw)
Contactor alimenta 3 motores ventiladores y 3 transformadores	230 AC	60	120-600	45	18
Contactor de fuerza para alimentar circuito de campo de los 3 drives	230AC	60	120-600	45	18
Contactor hab. Circuito de control y transformador AE00.N1-T1	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor para habilitar D.B.M	220 AC	50	100-400	10	-
Contactor para alimentar circuito de la armadura D.B.M	230 AC	60	120-600	150	75
Contactor habilita potenciómetro consigna principal y contador de metros	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor stop normal de la máquina	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor stop de emergencia de la máquina	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor para habilitar D.B.1	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor para alimentar circuito de la armadura D.B.1	220 AC	50	120-600	60	22
Contactor para cambiar sentido de giro D.B.1	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor para alimentar motor ventilador B.1	220/255 AC	50/60	100-500	16	3
Contactor para habilitar D.B.2	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor para alimentar circuito de la armadura D.B.2	220 AC	50	120-600	60	22
Contactor para cambiar sentido de giro D.B.2	220/255 AC	50/60	100-500	4	-
Contactor para alimentar motor ventilador B.2	220 AC	50	110-400	20	4
Contactor para mover la torre (centrador) de la B.1 a la izquierda	220/255 AC	50/60	100-500	16	3
Contactor para mover la torre (centrador) de la B.1 a la derecha	220/255 AC	50/60	100-500	16	3
Contactor para mover la torre (centrador) de la B.2 a la izquierda	220/255 AC	50/60	100-500	16	3
Contactor para mover la torre (centrador) de la B.2 a la derecha	220/255 AC	50/60	100-500	16	3
Contactor que alimenta circuito de armadura D.Calander	220 AC	60	120-600	127	100

Tabla 2.7 Resultados del proceso de selección de los guardamotores

Guardamotor	Corriente de cortocircuito (A)	Rango de Corriente (A)	Contacto auxiliar
Guardamotor de la alimentación al circuito de armadura del drive de la bobina madre	2000	50-200	1 NO, 1 NC
Guardamotor de la alimentación al circuito de campo del drive de la bobina madre	196	9.1-14	-
Guardamotor del motor ventilador del motor de DC de la BM	30	2-2.5	1 NO
Guardamotor de la alimentación al circuito de armadura del drive de la bobina 1	600	40-50	1 NO, 1 NC
Guardamotor de la alimentación al circuito de campo del drive de la bobina 1	196	9.1-14	-
Guardamotor del motor ventilador del motor de DC de la B1	75	4.5-6.3	1 NO, 1 NC
Guardamotor de la alimentación al circuito de armadura del drive de la bobina 2	600	40-50	1 NO, 1 NC
Guardamotor de la alimentación al circuito de campo del drive de la bobina 2	196	9.1-14	-
Guardamotor del motor ventilador del motor de DC de la B2	120	6.5-10	1 NO, 1 NC
Guardamotor de la alimentación al circuito de campo del drive del rodillo calander	120	6.5-10	1 NO, 1 NC
Guardamotor del motor ventilador del motor de DC del rodillo calander	48	2.8-4	1 NO, 1 NC
Guardamotor del motor centrador de hoja de la B.1	30	1.6-2.5	1 NO
Guardamotor del motor centrador de hoja de la B.2	30	1.6-2-5	1 NO

2.3.5.- Selección de indicadores de panel

Para el proceso de visualización de la velocidad de la máquina, el porcentaje de tensado de hoja tanto en la bobina uno como en la bobina dos y la velocidad del rodillo calander, se requiere de un instrumento el cual debe obtener lecturas estables y precisas, para garantizar una correcta lectura y de esta manera proporcionar datos aceptables de las variables que se indican.

Los parámetros de selección de los indicadores

a) Entrada analógica de $\pm 300\text{VCC}$, para:

- Visualización de la velocidad de la máquina en el panel del operador
- Visualización de la velocidad de la máquina en el tablero de la subestación
- Visualización de la velocidad del rodillo calander; entrada analógica de 0-10VCC para la visualización del tensado de hoja.

b) Entrada analógica de $\pm 10\text{VCC}$, para:

- Visualización del tensado de hoja de la bobina 1
- Visualización del tensado de hoja de la bobina 2

c) Salida de control para relé

d) Alimentación de 220Vac.

Para cumplir estos requerimientos, se seleccionó al indicador de panel universal para CC RED LION PAXD0000. Las especificaciones técnicas de los indicadores se encuentran en el anexo A, Hojas de especificaciones técnicas.

2.4.- DISEÑO, CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PLC

La configuración del PLC es un proceso mediante el cual se determina ¿cómo? y ¿dónde? se sitúan los distintos componentes del sistema de control.

La configuración dependerá de la tarea y del tipo de control propiamente dicho que se haya decidido y contempla tanto los elementos del PLC como sus periféricos.

Durante la elaboración del algoritmo de control, se han determinado las entradas y salidas, tanto discretas como analógicas, y éstas se han relacionado mediante diagramas o esquemas lógicos. La cantidad y tipo de las E/S determina los componentes que son necesarios.

La mejor manera de realizar la configuración es elaborar un mapa de direccionamiento, en el que mediante una representación de las estructuras de E/S se

indica los componentes que se ubican en el local junto a la CPU y cuáles se sitúan en posiciones remotas. Concluida la configuración del sistema, se ejecutan simultáneamente dos trabajos: la programación y la instalación.

El diseño del hardware del PLC se basará en la plataforma escalable Siemens Simatic S7-300, la cual dispone de una gran variedad de CPUs, módulos estándar y especiales para la configuración del PLC.

2.4.1.- Diseño de la CPU

Se recalca que por motivo de homologación tecnológica, se planteó la solución del problema utilizando el PLC Siemens Simatic S7-300. Esta familia tiene algunas alternativas de CPU: 312, 313, 314, 315, 317 y 318.

Las necesidades de automatización de la máquina con el PLC, se resumen a continuación:

Descripción	Requerimiento
Entradas discretas	Mayor o igual a 80
Salidas discretas	Mayor o igual a 16
Memoria de programa	Mayor o igual a 32 Kb
Temporizadores	Mayor o igual a 10
Contadores	Mayor o igual a 10
Funciones de programa	Mayor o igual a 10
Comunicación con panel de operador (OP)	Sí
Función de test y puesta en marcha	Sí

Por disponibilidad y cumplimiento de los parámetros técnicos deseados, se utiliza la CPU 313C-2 DP. Las especificaciones de la CPU seleccionada se detallan en el anexo A, Hojas de especificaciones técnicas.

2.4.2.- Diseño de los módulos de entradas discretas

La máquina requiere eminentemente entradas discretas, por lo tanto, los parámetros considerados para la selección de los módulos de entradas son:

Descripción	Requerimiento
Número de entradas	70
Tipo de entrada	Para contacto seco
Tensión de entrada	220 Vac
Corriente de entrada	Menor a 10 Ma
Longitud del cable	Mayor a 80 m

La familia Siemens Simatic S7-300 provee de módulos que agrupan 8, 16 ó 32 entradas discretas. Por lo tanto, se seleccionó cinco módulos de 16 entradas que cumplen con las necesidades del proyecto, y que corresponden al modelo SM 321; DI 16 x AC 120/230V 1A, (6ES7321-1FH00-0AA0) cuyas características se detallan en el anexo A, Hojas de especificaciones técnicas.

2.4.3.- Diseño de los módulos de salidas discretas

En lo que se refiere a las salidas discretas a utilizarse en el proyecto, los parámetros considerados para la selección de los módulos de salidas discretas son:

Descripción	Requerimiento
Número de salidas	30
Tipo de salida	Triac
Tensión de carga nominal	24 Vdc y 220 Vac
Corriente de carga	Mayor a 500 Ma
Longitud del cable	Mayor a 80 m

La familia de PLCs S7-300 dispone de módulos de salida discretas de 8, 16 ó 32 salidas discretas. Por lo tanto, se seleccionó un módulo de 16 salidas con lo que respecta a la tensión de carga de 220Vac que cumplen con las necesidades del proyecto, y que corresponden al modelo SM 322; DO 16 x AC 120/230 V 1 A (6ES7322-1FH00-0AA0).

En lo referente a las salidas discretas de 24 Vdc se utiliza las que vienen incorporadas a la Cpu 313-2DP, las cuales vienen en un número de 16, cuyas características se detallan en el anexo A, Hojas de especificaciones técnicas.

2.4.4.- Diseño de la fuente de alimentación del PLC

La fuente de alimentación se diseña tomando en cuenta el consumo de corriente de cada uno de los componentes del PLC, a continuación se muestra el cálculo respectivo de la corriente total:

Componente	Cantidad	Corriente (A)
CPU 313C-2 DP	1	0.9
Entradas digitales SM 321; DI 16 x AC 120/230V /1A	5	0.05
Salidas digitales SM 322; DO 16 x AC 120/230 V/1 A	1	0.2
Corriente total		1.15

Por lo tanto, se selecciona una fuente de alimentación de 24V de corriente continua con una capacidad de 5A, que corresponde al modelo PS 307; 5 A (6ES7307-1EA00-0AA0), cuyas características se detallan en el anexo A, Hojas de especificaciones técnicas.

2.5.- PROGRAMACIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD⁵

Partiendo de la estructura de programación de los Drives de la familia Siemens Simoreg DC Master, la misma que se la puede realizar mediante un panel de mando simple PMU (Parameterization Unit) el mismo que se encuentra ubicado en la puerta del drive o a su vez para facilitar la programación y principalmente el monitoreo del drive en línea se emplea el software Drive Monitor. La programación de los drives se lo realiza mediante bloques de funciones por medio de parámetros, conectores, binectores y selectores, los cuales se detallan a continuación:

Bloques de función

Los bloques de función representados, si bien están materializados de forma digital (módulos software), pueden "leerse" de la misma forma que un esquema de un aparato analógico.

Estructurabilidad

El equipo se distingue por su posibilidad de estructurar de forma libre los bloques o módulos de función disponibles. Estructurabilidad libre significa que las conexiones entre los diferentes bloques de función pueden definirse por medio de parámetros.

Conectores

Todas las variables de salida y magnitudes de cálculo importantes en los bloques de función son accesibles por medio de "*conectores*" (p. ej. para su postratamiento en calidad de señales de entrada en otros bloques de función). Las magnitudes accesibles por conectores corresponden a las *señales de salida* o *puntos de medida* de un montaje analógico y se identifican por su "*número de conector*" (p. ej. K003 = conector 3).

La representación software interna de los números de los conectores es generalmente: 100% corresponden a 4000 hexadecimal = 16384 decimal. La resolución es de 0,006% (escalonamiento).

⁵ SIEMENS, "Equipos convertidores con microprocesador para accionamientos de corriente continua de velocidad variable. SIMOREG DC MASTER". Instrucciones de Servicio", Alemania , 2004

Conectores de doble palabra

Los conectores de doble palabra son conectores con un intervalo de valores numéricos de 32 bits (es decir, palabra LOW y palabra HIGH con un intervalo de valores de la doble palabra de 00000000Hex hasta FFFFFFFFHex) -100 % a +100 % se corresponden con los valores de conectores de C0000000 Hex a 40000000 Hex (= -1073741824 a +1073741824 decimal). Esto significa que en los 16 bits superiores (palabra HIGH) de un conector de doble palabra se reproduce el mismo margen de valores que en un conector "normal" (C000 Hex a 4000 Hex ó -16384 a +16384 decimal para -100 % a +100 %). Los 16 bits de la palabra LOW y no incluidos en un conector "normal" permiten una resolución del valor del conector superior en el factor 65536.

Representación en los esquemas de bloques:



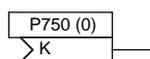
Binectores

Todas las magnitudes de medida binarias así como las principales señales binarias de salida de los bloques de función son accesibles por "binectores" (conectores para señales binarias). Los binectores admiten los estados lógicos "0" y "1". Las magnitudes accesibles por binectores corresponden a las señales de salida de un circuito o montaje digital y se identifican por su "número de binector" (p. ej. B003 = binector 3).

Selectores, enlaces

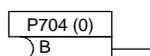
Las entradas de los bloques de función se definen en "Selectores" a través de parámetros de selección asignados. Para ello, en el parámetro para él correspondiente selector se ajusta el número del conector o binector que debe actuar como magnitud de entrada.

Representación en los esquemas de función:



Selección de un conector

Número de parámetro = P750, ajuste de fábrica = 0 (es decir, valor fijo 0%)



Selección de un binector

Número de parámetro = P704, ajuste de fábrica = 0 (es decir, valor fijo 0)

P613 (1)	.01
>K	.02
>K	.03
>K	.04

Selección de conectores (parámetro "indexado" con 4 índices)
 Número de parámetro = P613, ajuste de fábrica = 1 (es decir, valor fijo 100%; este ajuste de fábrica vale para todos los índices de P613)

P611	AF	.01
>K	277	.02
>K	0	.03
>K	0	.04

Selección de conectores (parámetro "indexado" con 4 índices)
 Número de parámetro = P611
 Ajuste de fábrica para índice.01 = 277 (es decir, conexión con conector K0277)
 Ajuste de fábrica para índice.02 a .04 = 0 (es decir, valor fijo 0%)

P046 (0)	.01
>B	.02
>B	.03
>B	.04

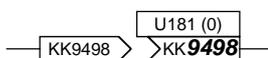
Selección de binectores (parámetro "indexado" con 4 índices)
 Número de parámetro = P046, ajuste de fábrica = 0 (es decir, valor fijo 0; válido para todos los índices de P046)

U181 (0)
>KK

Selección de un conector de doble palabra
 Número de parámetro = U181, ajuste de fábrica = 0 (es decir, valor fijo 0%)

El número de conector/binector se registrará en las casillas vacías. El valor entre paréntesis junto al número de parámetro corresponde al ajuste realizado en fábrica (valor prefijado) del parámetro.

Para la selección de los conectores de doble palabra son aplicables las siguientes reglas:

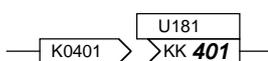


Conector de doble palabra en selección de conector doble:

La palabra doble para postprocesamiento consta de:

Palabra LOW = palabra LOW del conector de doble palabra (KK9498)

Palabra HIGH = palabra HIGH del conector de doble palabra (KK9498)

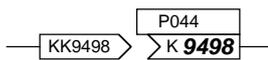


Conector en selección de conector de doble palabra:

La palabra doble para postprocesamiento consta de:

Palabra LOW = 0

Palabra HIGH = conector seleccionado (K0401)



Conector de doble palabra en selección de conector:

Transferencia de la palabra HIGH del conector de doble palabra (KK9498),

no se utiliza la palabra LOW del conector de doble palabra (KK9498).

Parámetro de indicación

Los valores de determinadas señales se pueden visualizar mediante parámetros de indicación (parámetros r, parámetros n). Mediante indicaciones de conector es posible conectar todos los conectores en parámetros de indicación y visualizarlos de esta forma.

Representación en los esquemas de funciones:

Los esquemas de funciones pueden contener junto al número de parámetro una información sobre la descripción de la función de los parámetros.



Parámetro de indicación

Número de parámetro = r316

Indicación del estado del GdR

En la figura 2.2 se muestra la ventana principal del software Drive Monitor para la programación de los drives Simoreg.

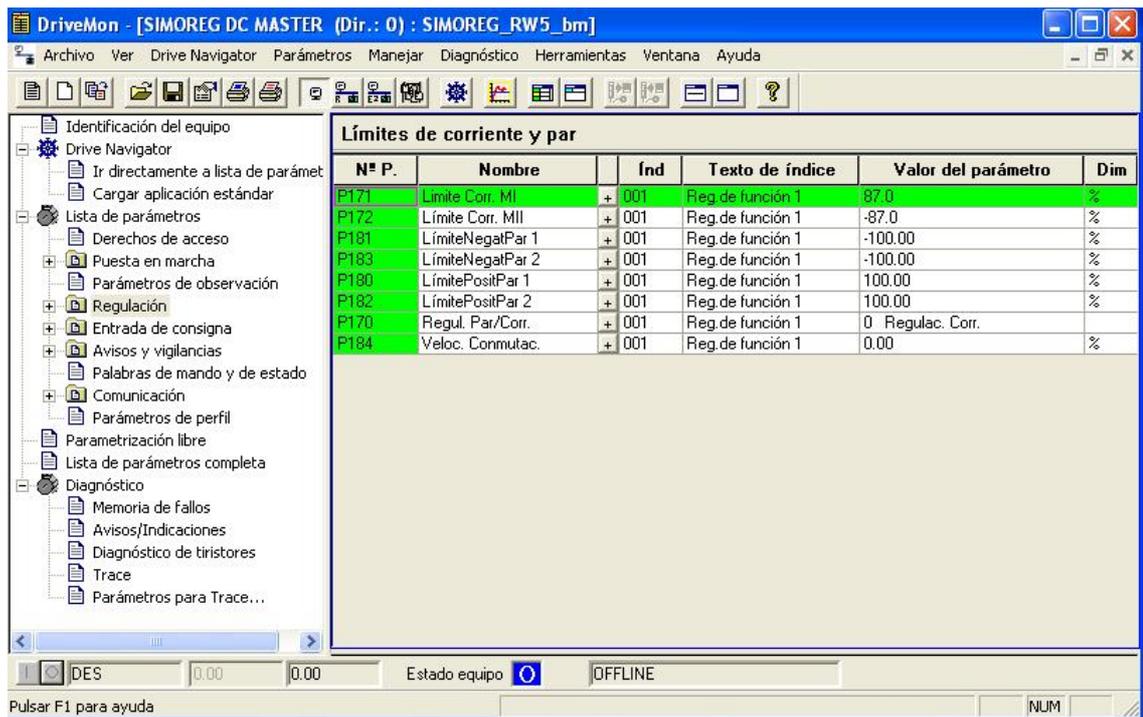


Figura 2.2 Ventana del software Drive Monitor

2.5.1.- Drive del motor de la bobina madre

En síntesis, los requerimientos de funcionamiento del motor de la bobina madre de la máquina son:

1. Control de velocidad.
2. Funcionamiento Gira/Para.
3. Referencia de velocidad analógica con potenciómetro.
4. Parada de emergencia por cualquier error.
5. Referencia de velocidad para los drives del motor de la bobina 1 y bobina 2.
6. Rampa de aceleración.
7. Rampas de desaceleración tanto para una parada normal como para una parada de emergencia de la máquina.
8. Referencia analógica para la visualización de la velocidad de la máquina en metros por minuto.

Para el efecto, el drive utilizado SIMOREG DC MASTER, detallado en la sección 2.3.3, se parametrizó como se indica en la tabla 2.8 y adicional en el anexo C se muestra en esquema de funciones la programación para el control del drive.

2.5.2.- Drive del motor de la bobina 1

Los requerimientos de funcionamiento del motor de la bobina 1 son:

1. Control de velocidad
2. Funcionamiento Gira/Para
3. Referencia de velocidad analógica dependiente de la velocidad del motor de la bobina madre
4. Parada de emergencia por cualquier error
5. Referencia de velocidad para el drive del rodillo calander
6. Rampa de aceleración
7. Rampa de desaceleración para una parada de emergencia de la máquina.
8. Inversión de giro del motor
9. Referencia analógica dependiente de la velocidad del motor de la bobina madre para el cálculo del porcentaje de tensado de hoja.
10. Referencia analógica para la visualización del porcentaje de tensado de hoja en la bobina 1.

Para el efecto, el drive utilizado SIMOREG DC MASTER, detallado en la sección 2.3.3, se parametrizó como se indica en la tabla 2.9 y adicional en el anexo C se muestra en esquema de funciones la programación para el control del drive.

2.5.3.- Drive del motor de la bobina 2

Los requerimientos de funcionamiento del motor de la bobina 2 son:

1. Control de velocidad
2. Funcionamiento Gira/Para

3. Referencia de velocidad analógica dependiente de la velocidad del motor de la bobina madre
4. Parada de emergencia por cualquier error
5. Rampa de aceleración
6. Rampa de desaceleración para una parada de emergencia de la máquina.
7. Inversión de giro del motor
8. Referencia analógica dependiente de la velocidad del motor de la bobina madre para el cálculo del porcentaje de tensado de hoja.
9. Referencia analógica para la visualización del porcentaje de tensado de hoja en la bobina 2.

Para el efecto, el drive utilizado SIMOREG DC MASTER, detallado en la sección 2.3.3, se parametrizó como se indica en la tabla 2.10 y adicional en el anexo C se muestra en esquema de funciones la programación para el control del drive.

2.5.4.- Drive del motor del rodillo calander

Los requerimientos de funcionamiento del motor de la bobina 1 son:

1. Control de velocidad
2. Funcionamiento Gira/Para
3. Referencia de velocidad analógica dependiente de la velocidad del motor de la bobina 1
4. Parada de emergencia por cualquier error
5. Rampa de aceleración
6. Rampa de desaceleración para una parada de emergencia de la máquina
7. Referencia analógica para la visualización de la velocidad del motor

Para el efecto, el drive utilizado SIMOREG DC MASTER, detallado en la sección 2.3.3, se parametrizó como se indica en la tabla 2.11 y adicional en el anexo C se muestra en esquema de funciones la programación para el control del drive.

Tabla 2.8 Parámetros principales del drive del motor de la bobina madre

Nº Par	Nombre	Ind	Texto de índice	Valor del parámetro	Dim
P051	Palabra Clave			40	
P052	Complejidad			3	
P076	Normalizac. de I	1	Inducido	100.0	%
		2	Excitación	100.0	
P078	Normalizac. de U	1	Unom red ind.	460	V
		2	Unom red exc.	460	
P081	Debilitam. Campo			0 Desconectado	
P082	ModoOperatiExcit			1	
P083	Selección n real	1	Reg.de función 1	1 Taco Analógico	
P100	Iasig. Induci	1	Reg.de función 1	109.0	A
P101	Uasig. Induci	1	Reg.de función 1	440	V
P102	Iasig. Excit.	1	Reg.de función 1	6.60	A
P114	ConstTérTiempMot	1	Reg.de función 1	10.0	min
P115	FEM máxima	1	Reg.de función 1	100.00	%
P140	Tipo de EmisImpu			0 Ninguno	
P141	CantidImpulEmImp			500	
P142	Tensión EmisImpu			1 15 voltios	
P143	EmisImpul n máx	1	Reg.de función 1	500.0	min ⁻¹
P144	EvaluaciónMúltip	1	Reg.de función 1	2 Cuádruple	
P145	ConmAutEvalMúlti	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P146	ConmAutTiemMedic	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P147	TiempoPromediado	1	Reg.de función 1	0 1 ms	
P171	Limite Corr. MI	1	Reg.de función 1	87.0	%
P172	Límite Corr. MII	1	Reg.de función 1	-87.0	%
P180	LímitePositPar 1	1	Reg.de función 1	100.00	%
P181	LímiteNegatPar 1	1	Reg.de función 1	-100.00	%
P200	TFilt nrealReg n	1	Reg.de función 1	100	ms
P225	Kp Regulador n	1	Reg.de función 1	54.24	
P226	Tn Regulador n	1	Reg.de función 1	0.577	s
P227	Reg n Estatismo	1	Reg.de función 1	0.0	%
P228	RegnTieFiltrCons	1	Reg.de función 1	577	ms
P275	Regulador FEM KP	1	Reg.de función 1	0.60	
P276	Regulador FEM TN	1	Reg.de función 1	0.200	s
P303	GenRamp T Acele1	1	Reg.de función 1	95.00	s
P304	GenRamp T Decel1	1	Reg.de función 1	105.00	s
P305	GeRamRedondInic1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P306	GeRamRedonFinal1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P609	Fte.ValRealReg n			K0 Valor Fijo 0	
P741	ValRealPrNormali	1	Reg.de función 1	55.28	V

Tabla 2.9 Parámetros principales del drive del motor de la bobina 1.

Nº Par	Nombre	Ind	Texto de índice	Valor del parámetro	Dim
P051	Palabra Clave			7	
P052	Complejidad			3	
P076	Normalizac. de I	1	Inducido	100.0	%
		2	Excitación	100.0	
P078	Normalizac. de U	1	Unom red ind.	460	V
		2	Unom red exc.	460	
P081	Debilitam. Campo			0 Desconectado	
P082	ModoOperatiExcit			1	
P083	Selección n real	1	Reg.de función 1	1 Taco Analógico	
P100	Iasig. Induci	1	Reg.de función 1	31.7	A
P101	Uasig. Induci	1	Reg.de función 1	440	V
P102	Iasig. Excit.	1	Reg.de función 1	2.55	A
P114	ConstTérTiempMot	1	Reg.de función 1	10.0	Min
P115	FEM máxima	1	Reg.de función 1	100.00	%
P140	Tipo de EmisImpu			0 Ninguno	
P141	CantidImpulEmImp			500	
P142	Tensión EmisImpu			1 15 voltios	
P143	EmisImpul n máx	1	Reg.de función 1	500.0	min ⁻¹
P144	EvaluaciónMúltip	1	Reg.de función 1	2 Cuádruple	
P145	ConmAutEvalMúlti	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P146	ConmAutTiemMedic	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P147	TiempoPromediado	1	Reg.de función 1	0 1 ms	
P171	Limite Corr. MI	1	Reg.de función 1	74.0	%
P172	Límite Corr. MII	1	Reg.de función 1	-74.0	%
P180	LímitePositPar 1	1	Reg.de función 1	100.00	%
P181	LímiteNegatPar 1	1	Reg.de función 1	-100.00	%
P200	TFilt nrealReg n	1	Reg.de función 1	100	Ms
P225	Kp Regulador n	1	Reg.de función 1	26.30	
P226	Tn Regulador n	1	Reg.de función 1	0.577	S
P227	Reg n Estatismo	1	Reg.de función 1	0.0	%
P228	RegnTieFiltrCons	1	Reg.de función 1	577	Ms
P275	Regulador FEM KP	1	Reg.de función 1	0.60	
P276	Regulador FEM TN	1	Reg.de función 1	0.200	S
P303	GenRamp T Acele1	1	Reg.de función 1	0.00	S
P304	GenRamp T Decel1	1	Reg.de función 1	0.00	S
P305	GeRamRedondInic1	1	Reg.de función 1	10.00	S
P306	GeRamRedonFinal1	1	Reg.de función 1	0.00	S
P609	Fte.ValRealReg n			K0 Valor Fijo 0	
P741	ValRealPrNormali	1	Reg.de función 1	55.28	V

Tabla 2.10 Parámetros principales del drive del motor de la bobina 2

N° Par	Nombre	Ind	Texto de índice	Valor del parámetro	Dim
P051	Palabra Clave			7	
P052	Complejidad			3	
P076	Normalizac. de I	1	Inducido	100.0	%
		2	Excitación	100.0	
P078	Normalizac. de U	1	Unom red ind.	460	V
		2	Unom red exc.	460	
P081	Debilitam. Campo			0 Desconectado	
P082	ModoOperatiExcit			2	
P083	Selección n real	1	Reg.de función 1	1 Taco Analógico	
P100	Iasig. Induci	1	Reg.de función 1	49	A
P101	Uasig. Induci	1	Reg.de función 1	400	V
P102	Iasig. Excit.	1	Reg.de función 1	3.50	A
P114	ConstTérTiempMot	1	Reg.de función 1	10.0	min
P115	FEM máxima	1	Reg.de función 1	100.00	%
P140	Tipo de EmisImpu			0 Ninguno	
P141	CantidImpulEmImp			500	
P142	Tensión EmisImpu			1 15 voltios	
P143	EmisImpul n máx	1	Reg.de función 1	500.0	min ⁻¹
P144	EvaluaciónMúltip	1	Reg.de función 1	2 Cuádruple	
P145	ConmAutEvalMúlti	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P146	ConmAutTiemMedic	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P147	TiempoPromediado	1	Reg.de función 1	0 1 ms	
P171	Límite Corr. MI	1	Reg.de función 1	76.0	%
P172	Límite Corr. MII	1	Reg.de función 1	-76.0	%
P180	LímitePositPar 1	1	Reg.de función 1	100.00	%
P181	LímiteNegatPar 1	1	Reg.de función 1	-100.00	%
P200	TFilt nrealReg n	1	Reg.de función 1	100	ms
P225	Kp Regulador n	1	Reg.de función 1	22.79	
P226	Tn Regulador n	1	Reg.de función 1	0.577	s
P227	Reg n Estatismo	1	Reg.de función 1	0.0	%
P228	RegnTieFiltrCons	1	Reg.de función 1	577	ms
P275	Regulador FEM KP	1	Reg.de función 1	0.60	
P276	Regulador FEM TN	1	Reg.de función 1	0.200	s
P303	GenRamp T Acele1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P304	GenRamp T Decel1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P305	GeRamRedondInic1	1	Reg.de función 1	0.35	s
P306	GeRamRedonFinal1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P609	Fte.ValRealReg n			K0 Valor Fijo 0	
P741	ValRealPrNormali	1	Reg.de función 1	58	V

Tabla 2.11 Parámetros principales del drive del motor del rodillo calander

Nº Par	Nombre	Ind	Texto de índice	Valor del parámetro	Dim
P051	Palabra Clave			7	
P052	Complejidad			3	
P076	Normalizac. de I	1	Inducido	100.0	%
		2	Excitación	100.0	
P078	Normalizac. de U	1	Unom red ind.	460	V
		2	Unom red exc.	460	
P081	Debilitam. Campo			0 Desconectado	
P082	ModoOperatiExcit			2	
P083	Selección n real	1	Reg.de función 1	1 Taco Analógico	
P100	Iasig. Induci	1	Reg.de función 1	392	A
P101	Uasig. Induci	1	Reg.de función 1	470	V
P102	Iasig. Excit.	1	Reg.de función 1	6.60	A
P114	ConstTérTiempMot	1	Reg.de función 1	10.0	min
P115	FEM máxima	1	Reg.de función 1	100.00	%
P140	Tipo de EmisImpu			0 Ninguno	
P141	CantidImpulEmImp			500	
P142	Tensión EmisImpu			1 15 voltios	
P143	EmisImpul n máx	1	Reg.de función 1	500.0	min ⁻¹
P144	EvaluaciónMúltip	1	Reg.de función 1	2 Cuádruple	
P145	ConmAutEvalMúlti	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P146	ConmAutTiemMedic	1	Reg.de función 1	0 Desconectada	
P147	TiempoPromediado	1	Reg.de función 1	0 1 ms	
P171	Limite Corr. MI	1	Reg.de función 1	80	%
P172	Límite Corr. MII	1	Reg.de función 1	-39.0	%
P180	LímitePositPar 1	1	Reg.de función 1	300.00	%
P181	LímiteNegatPar 1	1	Reg.de función 1	-300.00	%
P200	TFilt nrealReg n	1	Reg.de función 1	0	ms
P225	Kp Regulador n	1	Reg.de función 1	30	
P226	Tn Regulador n	1	Reg.de función 1	0.956	s
P227	Reg n Estatismo	1	Reg.de función 1	0.0	%
P228	RegnTieFiltrCons	1	Reg.de función 1	956	ms
P275	Regulador FEM KP	1	Reg.de función 1	0.60	
P276	Regulador FEM TN	1	Reg.de función 1	0.200	s
P303	GenRamp T Acele1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P304	GenRamp T Decel1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P305	GeRamRedondInic1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P306	GeRamRedonFinal1	1	Reg.de función 1	0.00	s
P609	Fte.ValRealReg n			K0 Valor Fijo 0	
P741	ValRealPrNormali	1	Reg.de función 1	102.00	V

2.6.- DISEÑO DE LOS PLANOS ELÉCTRICOS

El diseño de los planos eléctricos se los realizó tomando como base los planos originales de la máquina JAGENBERG-REWINDER, los cuales fueron la base inicial para el reconocimiento de las partes eléctricas y electrónicas así como para efectuar los cambios respectivos en los circuitos de control y potencia de la máquina.

Los planos eléctricos finales están divididos en cuatro partes:

- Circuito eléctrico de potencia, muestra las conexiones eléctricas de los elementos de potencia como son:
 - Variadores de velocidad de motores
 - Protecciones eléctricas de la máquina
 - Circuitos de alimentación auxiliar
- Circuito eléctrico de control, donde se representa las conexiones eléctricas realizadas para el PLC:
 - Conexiones eléctricas a las entradas de PLC como son los sensores, botoneras y contactos auxiliares.
 - Conexiones eléctricas a las salidas del PLC, son todos los elementos de control como: bobinas de contactores, bobinas de electroválvulas, relés auxiliares; así como también las lámparas de indicación.
- Configuración del PLC, muestra la asignación y distribución eléctrica del PLC así como las conexiones de alimentación hacia el mismo.
- Parametrización y programación, corresponde a los parámetros principales de los dispositivos programables, que son:
 - Drive del motor de la bobina madre
 - Drive del motor de la bobina 1
 - Drive del motor de la bobina
 - Drive del motor del rodillo calander
 - Programación de Panel de Operación OP.

Los planos eléctricos de la máquina se muestran en el anexo B, Planos eléctricos.

2.7.- DISEÑO DE LA PANTALLA

Las pantallas, también conocidas como paneles de operación (OP: Operation Panel), actualmente son utilizadas en procesos industriales como sustitutos de PCs, para dotar de un HMI local. Entre otros, los factores que justifican su empleo son:

- Bajo costo/beneficio.
- Robustos.
- Teclado apto para ambientes rigurosos: humedad, temperatura, polvos, etc.
- En algunos casos, incluye herramientas HMI de desarrollo.

El objetivo de esta OP será la visualización de alarmas presentes en la máquina RW5, así como el estado de funcionamiento de la misma, para esto se requiere que la pantalla reúna los siguientes parámetros:

Descripción	Requerimiento
Tipo de visualización	De líneas mayor a 20 caracteres
Tamaño del display	Menor a 150mm x 80 mm
Teclado	Mayor a 4 teclas
Memoria	Mayor a 64 Kb
Puertos de comunicación	RS-232 ó RS-485
Protocolo de comunicación	MPI ó Profibus DP

Por lo tanto, se optó por el uso del equipo SIMATIC HMI OP3 en el cual se pueden visualizar estados de servicio y valores actuales del proceso de un control SIMATIC S7 acoplado, las especificaciones del OP3 se detallan en el anexo A, Hojas de especificaciones técnicas.

2.8.- DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

Partiendo de la estructura de programación de los PLCs de la familia Siemens Simatic S7-300 que emplea el software STEP 7, se tiene tres formas de programación:

- KOP, o diagrama de contactos en escalera o ladder. Se aplica cuando el desarrollador está familiarizado con diagramas eléctricos.
- FUP, o diagrama de funciones lógicas, utilizan la estructura compatible con la programación gráfica.
- AWL, corresponde a la programación mediante la escritura de código o nemónico compatible con el lenguaje ensamblador propio del procesador. Cabe anotar que, algunas secuencias de operaciones que no se pueden realizar en KOP o FUP, es posible solamente en AWL.

Para el desarrollo del software de control del presente proyecto se empleó el lenguaje de diagrama de contactos (KOP) por ser la técnica de programación más compatible con los circuitos de control industrial caracterizados por el predominio de señales discretas de entrada y salida.

Para la mejor comprensión del software de control del PLC, se divide en dos funciones que son OB1 y FC3, los mismos que contienen la programación de:

Función OB1

- Energiza circuito de control.
- Control para el drive de la bobina madre.
- Accionamientos auxiliares para el arranque.
- Accionamientos auxiliares para el paro normal.
- Accionamientos auxiliares para el paro de emergencia.
- Paro normal de la máquina activado por el micro de pie.
- Freno para el motor de la bobina madre.
- Control para el drive de la bobina 1.
- Control para el drive de la bobina 2.

- Reset de alarmas para el operador
- Habilitar-deshabilitar banda de la bobina 1.
- Habilitar-deshabilitar banda de la bobina 2.
- Freno para el motor de la bobina 1.
- Freno para el motor de la bobina 2.
- Presión de aire en la máquina.
- Presión de aire para las cuchillas.
- Rebobinado en el eje de la bobina madre.
- Protección durante el enrollamiento.
- Señales de falla en la bobina madre.
- Señales de falla en la bobina 1.
- Señales de falla en la bobina 2
- Llamado de la función FC3.

La función es detallada en el anexo D, Programa del PLC: OB1 "SECUENCIA DE ARRANQUE"

Función FC3

- Master control Relay.
- Contiene todas las alarmas de la máquina las cuales se visualizaran en el Panel de operador OP3.

La función es detallada en el anexo D, Programa del PLC: FC3 "ALARMAS PARA VISUALIZACIÓN EN LA OP3"

2.9.- PARAMETRIZACIÓN DE LOS INDICADORES DE PANEL RED LION

La máquina rebobinadora Jagenberg Rewinder 5 dispone de cinco indicadores red lion para la visualización de:

1. Velocidad de la máquina, ubicado en el tablero de operación
2. Velocidad de la máquina, ubicado los tableros de la subestación

3. Velocidad del motor calander, ubicado en el tablero de operación
4. Tensado de hoja de la bobina 1, ubicado en el tablero de operación
5. Tensado de hoja de la bobina 2, ubicado en el tablero de operación

En las siguientes tablas 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 y 2.16 se muestra la parametrización para cada uno de los indicadores.

Tabla 2.12 Parámetros de los indicadores de velocidad de la máquina

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	
1-IMP	rANGE	300u	Rango de entrada
	dECPt	0	Puntos decimales para visualización
	round	1	Redondeo para visualización
	Filtr	2.0	Filtro
	bANd	2	Banda del filtro
	PtS	2	Puntos de escalinización
	StYLE	Key	Estilo de escalinización
	IMP 1	0.00	Valor de entrada para el 1º punto de escalinización
	dSP 1	0	Valor de visualización para el 1º punto de escalinización
	IMP 2	18.51	Valor de entrada para el 2º punto de escalinización
dSP 2	501	Valor de visualización para el 2º punto de escalinización	
3-LOC	Code	222	Código de seguridad

Tabla 2.13 Parámetros del indicador de velocidad del motor del rodillo calander

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	
1-IMP	rANGE	300u	Rango de entrada
	dECPt	0	Puntos decimales para visualización
	round	1	Redondeo para visualización
	Filtr	1.0	Filtro
	bANd	5	Banda del filtro
	PtS	2	Puntos de escalinización
	StYLE	Key	Estilo de escalinización
	IMP 1	0.00	Valor de entrada para el 1º punto de escalinización
	dSP 1	0	Valor de visualización para el 1º punto de escalinización
	IMP 2	38.20	Valor de entrada para el 2º punto de escalinización
dSP 2	802	Valor de visualización para el 2º punto de escalinización	
3-LOC	Code	222	Código de seguridad

Tabla 2.14 Parámetros del indicador de tensado de hoja de la bobina 1

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	
1-IMP	rANGE	20u	Rango de entrada
	dECPt	0.00	Puntos decimales para visualización
	round	0.01	Redondeo para visualización
	Filtr	7.5	Filtro
	bANd	2.5	Banda del filtro
	PtS	3	Puntos de escalinización
	StYLE	Key	Estilo de escalinización
	IMP 1	- 0.114	Valor de entrada para el 1º punto de escalinización
	dSP 1	0.00	Valor de visualización para el 1º punto de escalinización
	IMP 2	0.230	Valor de entrada para el 2º punto de escalinización
	dSP 2	3.40	Valor de visualización para el 2º punto de escalinización
	IMP 3	- 0.210	Valor de entrada para el 3º punto de escalinización
	dSP 3	- 1.000	Valor de visualización para el 3º punto de escalinización
3-LOC	Code	222	Código de seguridad

Tabla 2.15 Parámetros del indicador de tensado de hoja de la bobina 2

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	
1-IMP	rANGE	20u	Rango de entrada
	dECPt	0.00	Puntos decimales para visualización
	round	0.01	Redondeo para visualización
	Filtr	7.5	Filtro
	bANd	2.5	Banda del filtro
	PtS	4	Puntos de escalinización
	StYLE	Key	Estilo de escalinización
	IMP 1	- 0.005	Valor de entrada para el 1º punto de escalinización
	dSP 1	0.00	Valor de visualización para el 1º punto de escalinización
	IMP 2	0.160	Valor de entrada para el 2º punto de escalinización
	dSP 2	1.500	Valor de visualización para el 2º punto de escalinización
	IMP 3	- 0.300	Valor de entrada para el 3º punto de escalinización
	dSP 3	- 2.100	Valor de visualización para el 3º punto de escalinización
	IMP 3	- 0.080	Valor de entrada para el 3º punto de escalinización
dSP 3	- 0.500	Valor de visualización para el 3º punto de escalinización	
3-LOC	Code	222	Código de seguridad

2.10.- CONFIGURACIÓN DE LA INTERFACE HMI

Uno de los objetivos planteados en este proyecto, es el de crear un HMI para la máquina, que brinden las siguientes funciones:

- Visualización del estado de funcionamiento de la máquina.
- Indicación de alarmas: que se debe hacer, y cual es su ubicación.

Para el efecto, se empleo el equipo con display de caracteres SIMATIC HMI OP3. La configuración para el OP3 se crea en un ordenador de configuración (PC/PG) con el software de configuración **ProTool**. Una vez terminada la configuración, es transferida al OP3. Durante el servicio, el OP3 comunica con el control acoplado y reacciona con ayuda de los datos previos proyectados a los desarrollados en el programa de control (PLC).

Antes de poner en funcionamiento el OP3, debe ser preparado, es decir proyectado, para la tarea de visualizar datos del control. Para ello deben ajustarse áreas de datos en la memoria del control, a través de las cuales el OP3 puede comunicar con el control. Esta comunicación entre el PLC y la OP3 se realiza exclusivamente con la función FC3 que fue detallada en el ítem 2.8.

En la figura 2.3 se muestra la ventana principal del software de configuración del OP3.

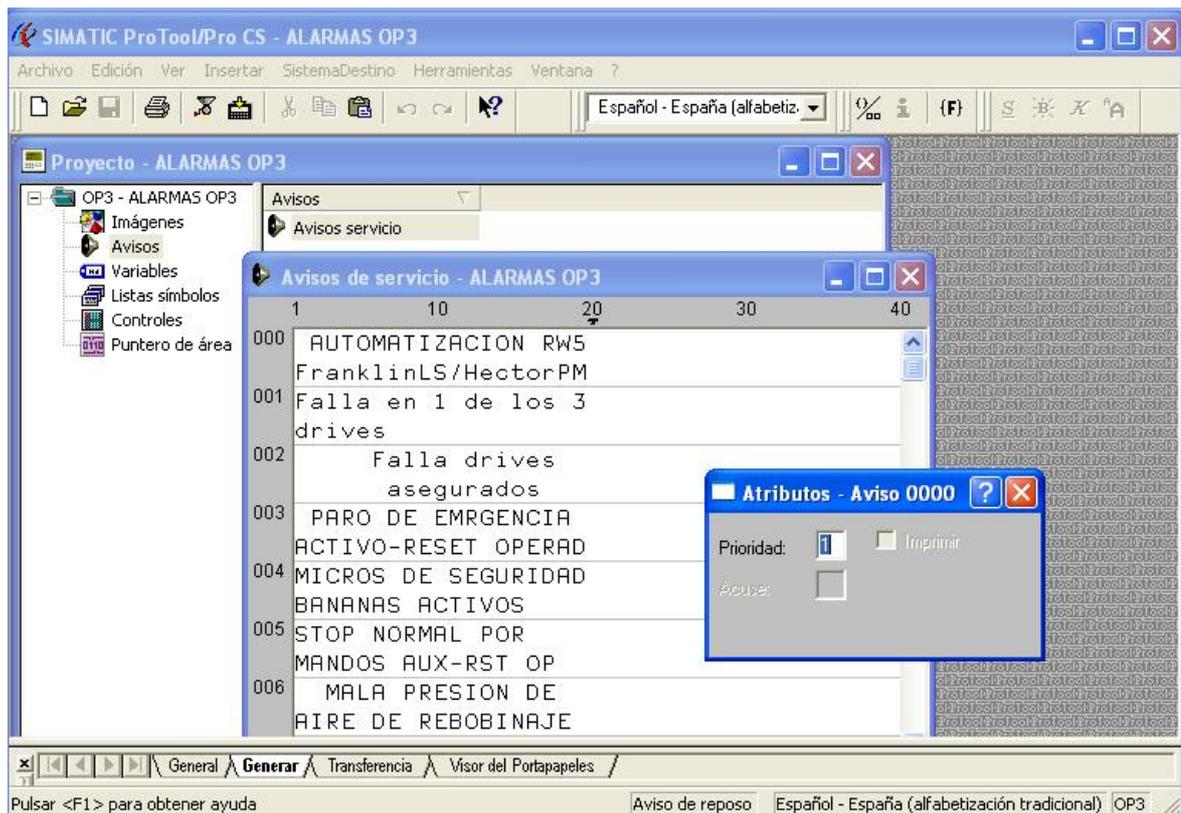


Figura 2.3 Ventana del software ProTool

CAPITULO III

RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1.- DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA

En la máquina rebobinadora RW5 anteriormente su parte eléctrica y electro neumática funcionaba con la tecnología de control industrial electromecánico, sus tres motores de corriente continua eran controlados por tres drive's de la marca Veritron-BBC. La sincronización de velocidad entre estos tres motores se lo realizaba con la ayuda de un módulo que poseía en una carcasa metálica entradas analógicas, salidas analógicas, entradas a relés y salidas a relés, este módulo electrónico era conocido como MOVIMAT¹. Para conseguir esto, el módulo MOVIMAT estaba a cargo del control de los tres drive's, ya que era el encargado de suministrar el voltaje de control para subir o bajar la velocidad de los motores de corriente continua siguiendo un tiempo de aceleración, generar el tiempo de desaceleración al producirse un paro normal o paro de emergencia, retrasar a los desenrolladores en velocidad con respecto al enrollador. Además permitía al operador observar: la velocidad de la máquina y el retraso de velocidad de los desenrolladores con respecto al enrollador en porcentaje o metros/minuto. A continuación en la figura 3.1 se muestra las señales que comandaba el módulo MOVIMAT.

En el anexo E se puede ver claramente las funciones de las entradas y salidas analógicas/digitales del drive Veritron-BBC,

¹ MOVIMAT: Es un PLC antiguo que funcionaba en base a amplificadores operacionales.

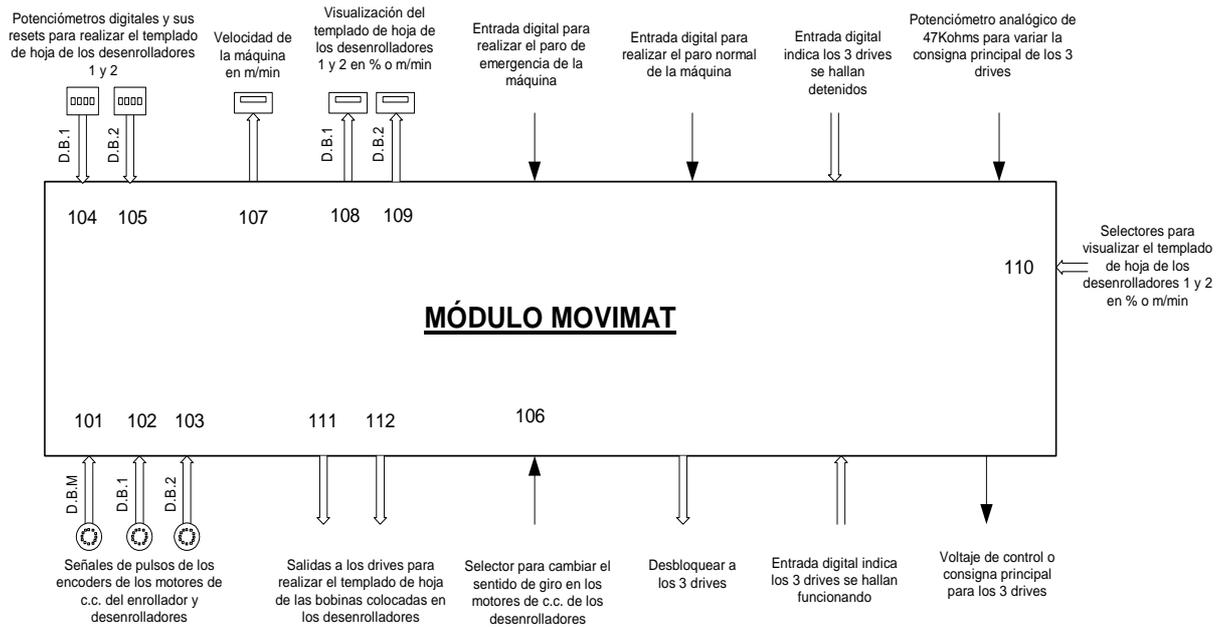


Figura 3.1 Señales que comandaba el módulo MOVIMAT

En la actualidad en la máquina rebobinadora RW5 se encuentra implementada la tecnología de Controladores Lógicos Programables (PLC's), bajo la plataforma Simatic S7-300 y sus tres motores de corriente continua son controlados por tres drive's programables de la marca SIMOREG DC MASTER DRIVES. Estos drive's programables son los encargados de realizar la sincronización de velocidad en la máquina RW5 ya que funcionan en la configuración maestro-esclavo; el drive programable que maneja al motor de corriente continua del enrollador es el maestro y los drive's que manejan a los dos motores de corriente continua de los desenrolladores son los esclavos. Cabe mencionar que en esta máquina además se implementó una etapa de calandéo², la misma que como elementos principales posee un motor de corriente continua, dos rodilleras metálicas y un drive programable SIMOREG DC MASTER el mismo que también trabaja en la configuración esclavo. Seguidamente se mencionan los componentes de la RW5 que enlazan a la nueva tecnología de control implementada.

² Calandéo: Consiste en un sistema de dos rodilleras metálicas que giran a la misma velocidad de la bobina madre, permitiendo que el papel que pasa entre estas rodilleras alcance características mas suaves.

3.1.1.- Máquina Rebobinadora RW5

- Consola del operador
- Armario eléctrico +H01
- Armario eléctrico +H02
- Armario eléctrico +H03
- Armario eléctrico +H04
- Armario eléctrico +H05
- Barreras de luz
- Frenos electro neumáticos
- Seguridades adicionales
- Indicador de fallas

Seguidamente se describen físicamente dichos componentes.

- **Consola del operador**

Consiste en un gabinete metálico cuyas medidas son: 110 X 95 X 40 cm., está ubicado junto a la RW5. Se denomina panel de mando del operador, permite controlar el funcionamiento de la máquina rebobinadora RW5. En la figura 3. se puede observar la gráfica de la consola del operador.



Figura 3.2 Consola del operador

Este gabinete consta de los siguientes elementos: pulsadores ON/OFF para el arranque y paro normal de la máquina, pulsador de seguridad empleado como paro de emergencia de la máquina, selectores ON/OFF utilizados para habilitar y deshabilitar a los drive's programables que manejan a los motores de corriente continua de los desenrolladores números uno y dos, selector de tres posiciones para resetear las fallas generales de la máquina, muletilla de seguridad para habilitar el voltaje de control, indicadores de la marca Red Lion para visualizar la velocidad de la máquina en metros/minuto y el retraso de los desenrolladores números uno y dos en % con respecto al enrollador, panel para visualizar las fallas generales y específicas de la máquina, contador de metros que cumple dos funciones la primera para conocer exactamente el tamaño de la bobina enrollada y la segunda para realizar un paro normal de la máquina una vez que el diámetro de la bobina enrollada haya llegado al set-point fijado en este contador, amperímetros que permiten visualizar la corriente de consumo de la armadura de los motores de corriente continua, tres potenciómetros que sirven para subir la velocidad de la máquina y retrasar la velocidad de los desenrolladores con respecto al enrollador, dos manómetros para visualizar la presión ejercida por las uñas agarra-ejes y reguladores de presión para que el operador fije la presión de trabajo de la parte neumática de la etapa de enrollamiento.

- **Armario eléctrico +H01**

Este armario (figura 3.3) se localiza en la subestación³ de corriente continua de la PM5⁴, el interior del armario consta de los siguientes elementos eléctricos: Muletilla de seguridad principal trifásica utilizada para energizar o desenergizar la línea de 440 Vac., contactores de fuerza que alimentan la parte de potencia de los drive's programables y habilitan el voltaje de control, relés térmicos para proteger a los drive's programables al existir excesiva corriente de consumo, fusibles tipo botella para proteger a la fuente de corriente continua, fuente de corriente continua de 24Vdc que alimenta a las bobinas de las electroválvulas y un transformador reductor con varias tomas de 440 Vac. a 220 Vac., 24 Vac, etc. empleado para alimentar a los elementos eléctricos que trabajan a 220Vac. En la puerta del armario se localiza un selector N.O. para evitar que el voltaje

³ Subestación: Cuarto donde se hallan ubicados los armarios eléctricos de las máquinas RW5 Y PM5

⁴ PM5: Máquina Papelera cinco

de control se habilite y los ingenieros del Departamento de Mantenimiento Eléctrico puedan realizar cualquier tipo de trabajo.

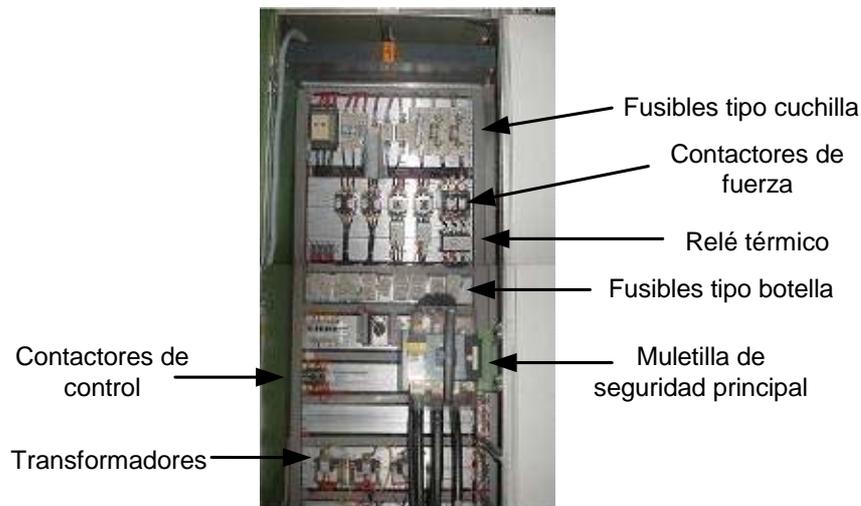


Figura 3.3 Armario Eléctrico +H01

- **Armario eléctrico +H02**

Este armario (figura 3.4) se localiza en la subestación de corriente continua de la PM5, el interior del armario consta de los siguientes elementos eléctricos: relés térmicos para proteger a los motores centradores de hoja de elevadas corrientes de trabajo, riel din (35 mm), relé de estado sólido de 24Vdc que permite saber si la mesa pasa bobinas esta bloqueada, bloques de borneras normales para distribuir los cables de conexión, bloques de borneras para fusibles tipo vidrio que protegen a las salidas discretas del PLC, contactores auxiliares para activar o desactivar y parar a los drive's programables.

Los siguientes elementos tales como: PLC, fuente de corriente continua de 24Vdc para el PLC, módulos de entradas a 220Vac, salidas discretas a 24Vdc, salidas discretas a 220Vac, remplazaron al control industrial electromecánico con el que funcionaba la RW5.

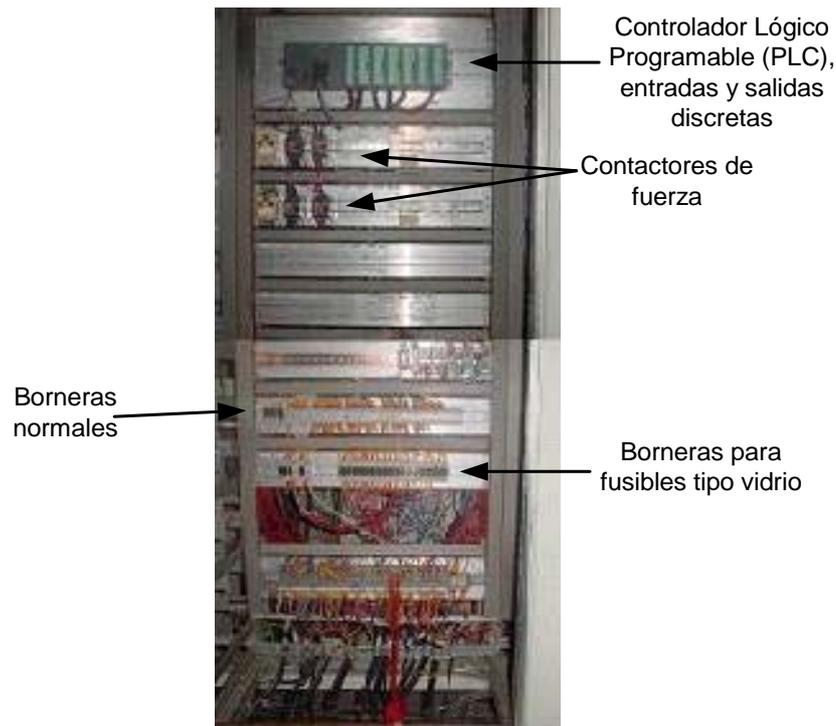


Figura 3.4 Armario Eléctrico +H02

- **Armario eléctrico +H03**

Este armario (figura 3.5) se localiza en la subestación de corriente continua de la PM5, el interior del armario consta de los siguientes elementos eléctricos: Drive programable SIMOREG DC MASTER que controla al motor de corriente continua del enrollador (drive bobina madre), una inductancia para filtrar la señal trifásica de corriente alterna que alimenta la parte de potencia del drive programable, bloques de borneras normales para distribuir la conexión de los cables, contactores auxiliares activar o desactivar y parar a los drive's programables, contactores de fuerza para alimentar a los motores ventiladores de los motores de corriente continua, y alimentar circuito de campo del drive programable, guarda motores para proteger al motor ventilador de elevadas corrientes de trabajo, transformador reductor de 440 Vac a 220 Vac con varias tomas para alimentar a los elementos eléctricos que trabajan con 220Vac. En la puerta del armario (figura 3.6) se localiza un pulsante N.C. para resetear las fallas eléctricas de control y fuerza del enrollador, también un amperímetro analógico para visualizar la corriente de armadura que consume el motor de corriente continua durante su funcionamiento.

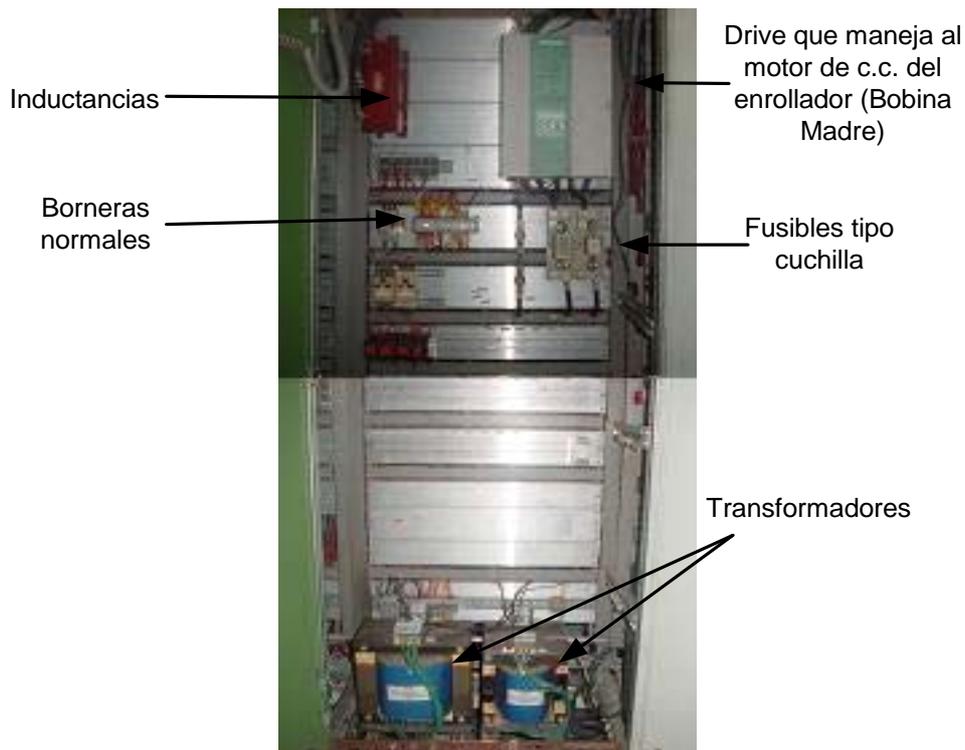


Figura 3.5 Armario Eléctrico +H03

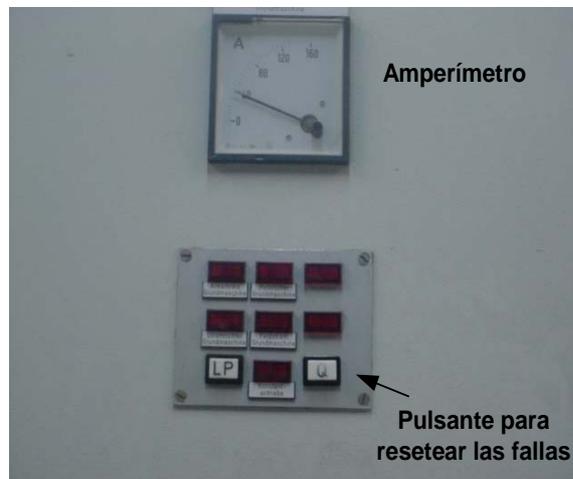


Figura 3.6 Parte externa del Armario Eléctrico +H03

- **Armario eléctrico +H04**

Este armario (figura 3.7) se localiza en la subestación de corriente continua de la PM5, el interior del armario consta de los siguientes elementos eléctricos: Dos drive's programables SIMOREG DC MASTER que controlan a los motores de corriente continua del desenrollador número uno (drive bobina uno) y desenrollador número dos

(drive bobina dos), dos inductancias para filtrar la señal trifásica de corriente alterna que alimenta la parte de potencia de los drive's programables, bloques de borneras normales para distribuir la conexión de los cables, contactores auxiliares para activar o desactivar y parar a los drive's programables, contactores de fuerza para alimentar a los motores ventiladores de los motores de corriente continua, guarda motores para proteger a los motores ventiladores de elevadas corrientes de trabajo, dos transformadores reductores de 440 Vac a 220 Vac con varias tomas para alimentar a los elementos eléctricos que trabajan con 220Vac. En la puerta del armario (figura 3.8) se localiza un pulsante N.C. para resetear las fallas eléctricas que involucran a los enrolladores número uno y dos, también dos amperímetros analógicos para visualizar las corrientes de armadura que consumen los motores de corriente continua durante su funcionamiento.

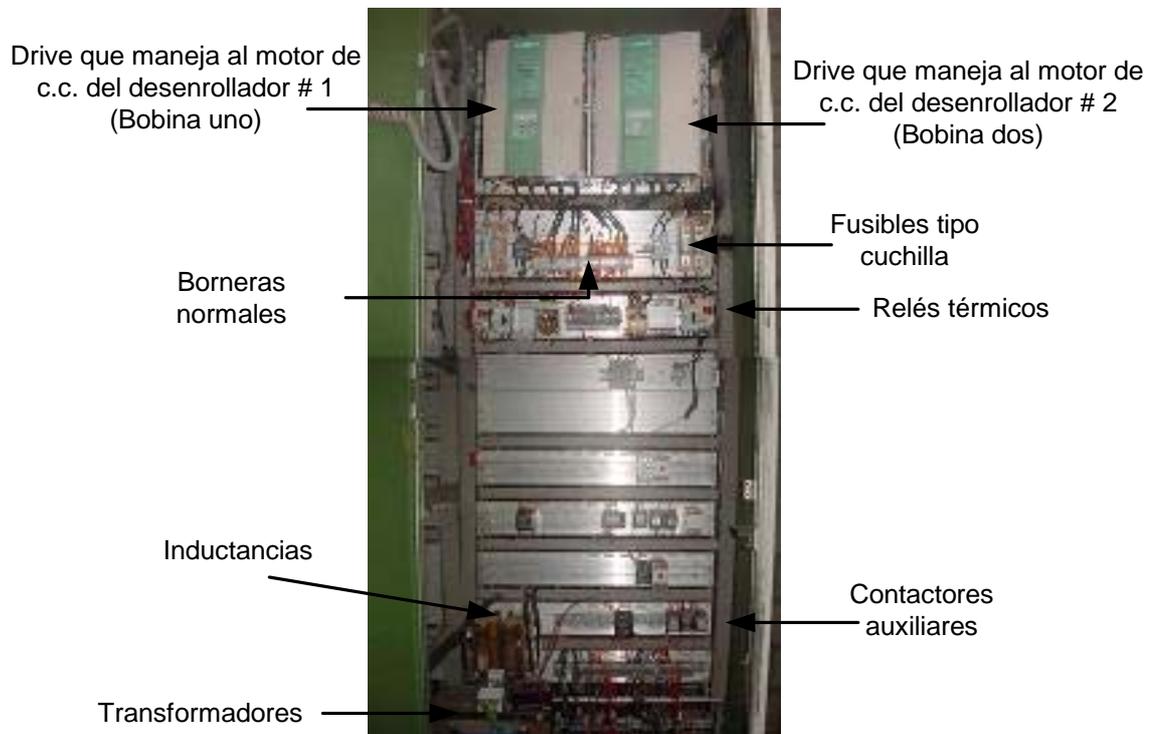


Figura 3.7 Armario Eléctrico +H04

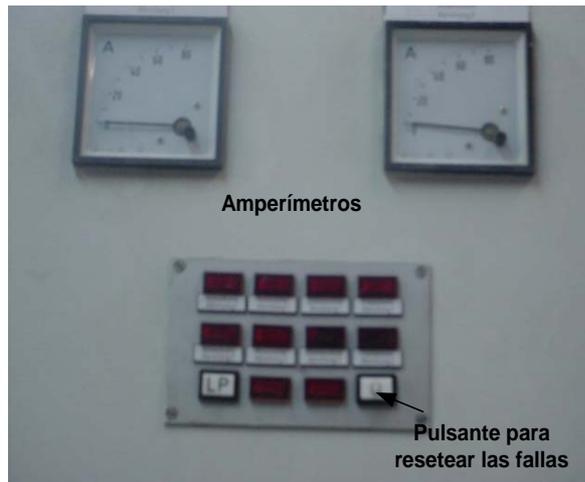


Figura 3.8 Parte externa del Armario Eléctrico +H04

- **Armario eléctrico +H05**

Este armario controla toda la etapa de calandeo (figura 3.9) se localiza en la subestación de corriente continua de la PM5, el interior del armario consta de los siguientes elementos eléctricos: Drive programable SIMOREG DC MASTER DRIVES que controla al motor de corriente continua del calander, inductancias, bloques de borneras normales, contactores de fuerza y guarda motores.

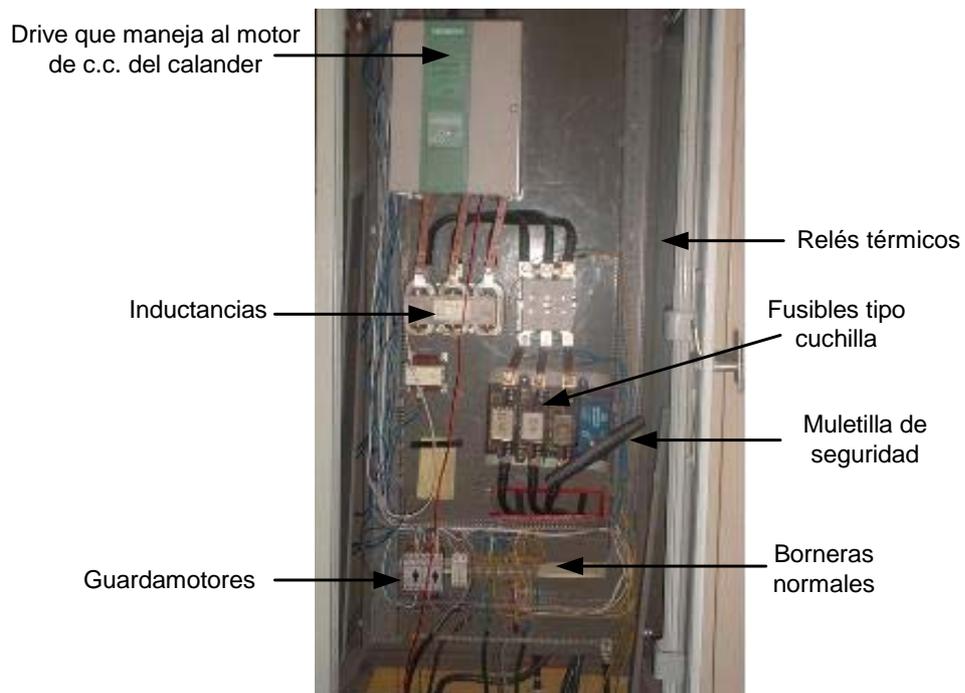


Figura 3.9 Armario Eléctrico +H05.

- **Barreras de luz**

Es un sensor reflectivo con espejos (figura 3.10), el mismo que da seguridad al operador cuando se halle envolviendo el plástico en la bobina enrollada, ya que este sensor no permite que baje la mesa pasa bobinas.

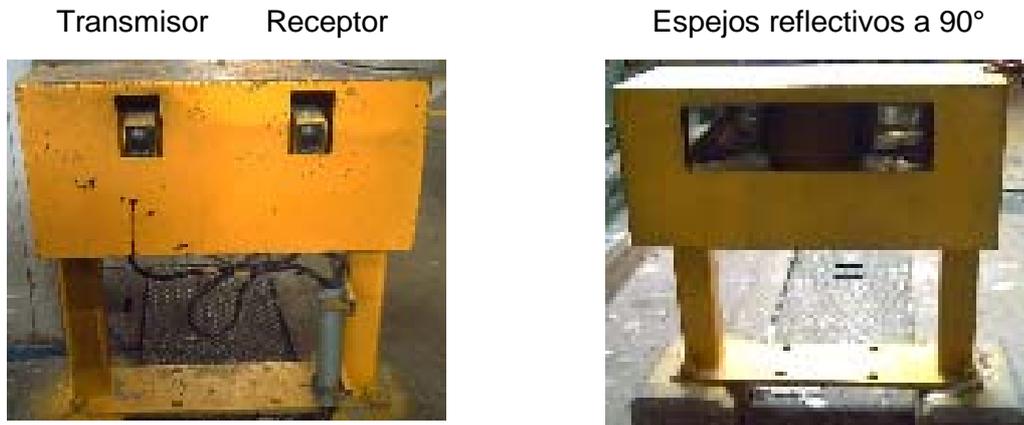


Figura 3.10 Barrera de luz

- **Frenos electro neumáticos**

Consiste en un sistema de zapatas (figura 3.11) que se pegan a la rueda metálica de los ejes de los motores de corriente continua al inflarse los chambers⁵ con aire, para lo cual se desactivan las electroválvulas automáticamente al dejar de girar los motores.



Figura 3.11 Freno electro neumático

⁵ Chambers: Similar a un globo de aire, fabricado de plástico reforzado.

- **Seguridades adicionales**

Dentro de estas seguridades se hallan finales de carrera, anemómetros, pulsantes de paro de emergencia y switch de presión. Estas seguridades tienen como objetivo no dejar arrancar a la máquina RW5 en su totalidad o alguna de sus etapas para no ocasionar lesión alguna al operador. En la figura 3.12 se observa un final de carrera que no permite arrancar a la máquina si la banda de la banana se recorrió de su posición.

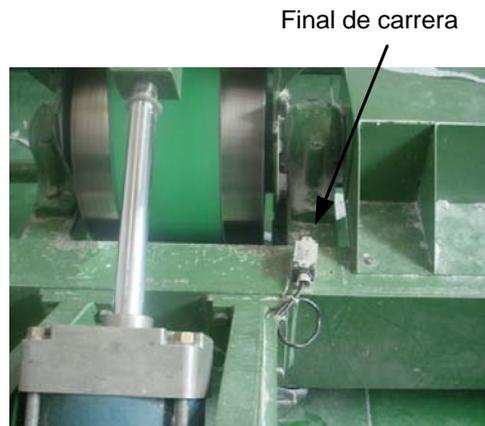


Figura 3.12 Final de carrera seguridad banda recorrida

- **Indicador de fallas**

Es una OP3⁶ (figura 3.13) que permite visualizar por medio de texto las fallas de la RW5 ocasionadas por activarse cualquier relé térmico, final de carrera, guarda motor, etc. Está localizado en la consola del operador.

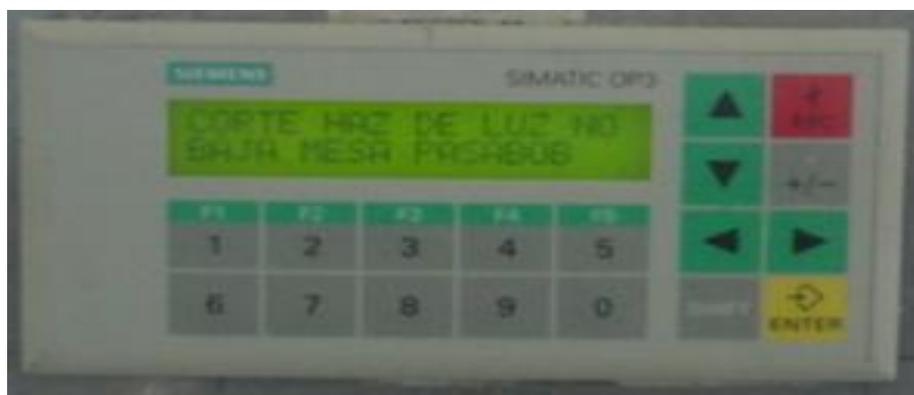


Figura 3.13 Indicador de fallas de la máquina

⁶ OP3: Proviene de las siglas en inglés Panel del Operador # 3

3.2.- PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.2.1.- Estado de Operación de los Drive's programables SIMOREG DC MASTER

Los cuatro drive's programables se encuentran conectados y programados para que funcionen en la configuración maestro-esclavo (figura 3.14), para lograr una óptima sincronización de velocidades entre los cuatro motores de corriente continua y la bobina enrollada no tenga arrugas. La conexión eléctrica entre los cuatro drive's se lo realizó con cable # 18 de doble apantallamiento para atenuar el ruido eléctrico ocasionado por las líneas de 220 Vac. y 440 Vac. que sirven para alimentar la parte de potencia de toda la máquina RW5.

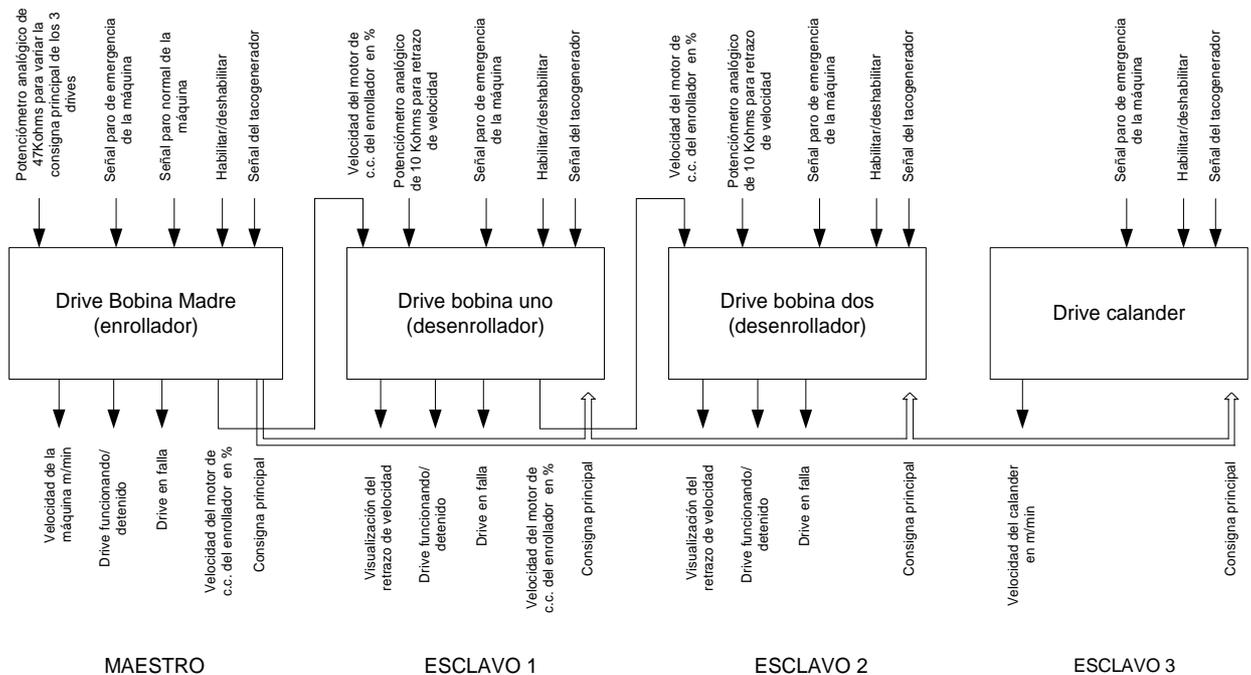


Figura 3.14 Configuración maestro-esclavo

Las funciones que realizaba el módulo electrónico MOVIMAT se las asignó a los cuatro drive's programables con el fin de eliminar este tipo de control caduco y aprovechar al máximo las bondades que ofrecían estos drive's. A continuación se mencionan las funciones que desempeñan los drive's en la configuración maestro-esclavo.

El drive que se halla en la configuración maestro (drive bobina madre) es el encargado de realizar las siguientes funciones:

- Generar el tiempo de desaceleración en función de la velocidad alcanzada, para que los motores de corriente continua de los tres esclavos (drive's bobinas uno, dos y calander) incluido el motor del maestro dejen de girar cuando se realiza un paro normal de la máquina.
- Hacer girar o detener a su motor de c.c.
- Generar la consigna principal o voltaje de control para si mismo y los cuatro drive's restantes.
- Suministrar la velocidad de su motor de c.c. en % hacia los dos drive's de los desenrolladores para programar la visualización del retraso de velocidad de los motores de c.c. de dichos desenrolladores.
- Permitir al operador visualizar la velocidad de la máquina en unidades de metros/minuto.
- Permitir al ingeniero del Departamento de Mantenimiento Eléctrico observar la corriente que consume la armadura del motor de c.c.
- Indicar al PLC por medio de una salida a 24 Vdc. que se halla funcionando o detenido.
- Indicar al PLC por medio de una salida a 24 Vdc. que se bloqueó debido a una falla.

El drive del desenrollador uno que se halla en la configuración esclavo cumple con las siguientes funciones:

- Cambiar el sentido de giro del motor de c.c. cuando el drive está detenido.
- Hacer girar o detener a su motor de c.c.
- Generar el voltaje adicional para retrasar la velocidad del motor de c.c. del desenrollador uno con respecto al enrollador.
- Permitir al operador visualizar el retraso de velocidad del motor de c.c. del desenrollador uno con respecto al enrollador en porcentaje.
- Permitir al ingeniero del Departamento de Mantenimiento Eléctrico observar la corriente que consume la armadura del motor de c.c.

- Indicar al PLC por medio de una salida a 24 Vdc. que se halla funcionando o detenido.

- Indicar al PLC por medio de una salida a 24 Vdc. que se bloqueó debido a una falla.

El drive del desenrollador dos que se halla en la configuración esclavo cumple con las mismas funciones del drive del desenrollador uno.

El drive del calander que se halla en la configuración esclavo funciona o se detiene con la consigna principal del drive del desenrollador.

3.2.2.- Estado de Operación de los Motores Eléctricos

Los motores son los actuadores principales de la máquina RW5, mensualmente se toma datos de los parámetros eléctricos de mayor importancia, tales como: voltaje de armadura, voltaje de campo, corriente de armadura, corriente de campo y temperatura de operación, con el objetivo de prevenir cualquier avería o en el peor de los casos que la máquina deje de funcionar.

En el anexo F se muestra los parámetros antes mencionados, correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo del 2006.

3.2.3.- Tiempos Muertos

La empresa cuenta con un sistema informático que determina los índices de rendimiento de cada máquina, en función de los tiempos muertos que están asociados a tres tipos de parada de la máquina:

- a) Mantenimiento Eléctrico.- Que son las fallas y averías asociadas con el funcionamiento eléctrico y control neumático de las máquinas.
- b) Mantenimiento Mecánico.- Se asocia a fallas y averías de los procesos mecánicos.
- c) Operacionales.- Es la sumatoria de los eventos operacionales de la máquina, en los cuales debe detenerse el funcionamiento. Para el caso específico de la máquina RW5, tenemos los siguientes: aseo de máquina, cambio de bobinas a desenrollarse, cambio de producto, alimentación del personal, extracción de la bobina enrollada, etc.

El documento se denomina “*abc de paros*”. A continuación se detallan los tiempos muertos antes de la automatización (mes de julio del 2005) y después de la automatización (meses de enero y febrero del 2006).

ABC PAROS MES DE JULIO 2005			
CATEGORIA	DESCRIPCION	MIN/EVENTO	MIN/CATEGORIA
MANTENIMIENTO ELECTRICO	Falta de energía	30	540
	Falla eléctrica del motor	120	
	Cambio de contactor	50	
	Detección y reseteo de fallas	140	
	Otros	200	
MANTENIMIENTO MECANICO	Cambio de Banda	170	265
	Cambio de aceite	50	
	Otros	45	
OPERACIONAL RW5	Aseo de máquina	10	135
	Ensayo o Pruebas	60	
	Cambio de bobina a desenrollar	20	
	Extracción de la bobina enrollada	25	
	Paro para ir al restaurante	20	
TOTAL GENERAL			940

a) Mes de Julio del 2005

ABC PAROS MES DE ENERO 2006			
CATEGORIA	DESCRIPCION	MIN/EVENTO	MIN/CATEGORIA
MANTENIMIENTO ELECTRICO	Falta de energía	30	125
	Falla eléctrica del motor	50	
	Reseteo de la falla	5	
	Otros	40	
MANTENIMIENTO MECANICO	Cambio de Banda	150	235
	Cambio de aceite	40	
	Otros	45	
OPERACIONAL RW5	Aseo de máquina	10	115
	Ensayo o Pruebas	40	
	Cambio de bobina a desenrollar	20	
	Extracción de la bobina enrollada	25	
	Paro para ir al restaurante	20	
TOTAL GENERAL			470

b) Mes de Enero del 2006

ABC PAROS MES DE ENERO 2006			
CATEGORIA	DESCRIPCION	MIN/EVENTO	MIN/CATEGORIA
MANTENIMIENTO ELECTRICO	Falta de energía	30	105
	Falla eléctrica del motor	50	
	Reseteo de la falla	5	
	Otros	20	
MANTENIMIENTO MECANICO	Cambio de Banda	150	235
	Cambio de aceite	40	
	Otros	45	
OPERACIONAL RW5	Aseo de máquina	10	115
	Ensayo o Pruebas	40	
	Cambio de bobina a desenrollar	20	
	Extracción de la bobina enrollada	25	
	Paro para ir al restaurante	20	
TOTAL GENERAL			450

c) Mes de Febrero del 2006

Del análisis del abc de paros se puede notar que ha disminuido los fallos de carácter estrictamente eléctrico.

3.2.4.- Velocidad y Visualización de la Máquina

Con los drive's anteriores y la tecnología de control industrial electromecánico, la velocidad máxima a la que podía trabajar la máquina era de 1200 metros/minuto. Con el proceso de automatización actual y los drive's programables se logró que la máquina trabaje a una velocidad de 1400 metros/minuto. Al incrementar la velocidad de la máquina (figura 3.15) se logró aumentar la producción de bobinas de papel tanto para consumo interno como para consumo externo.

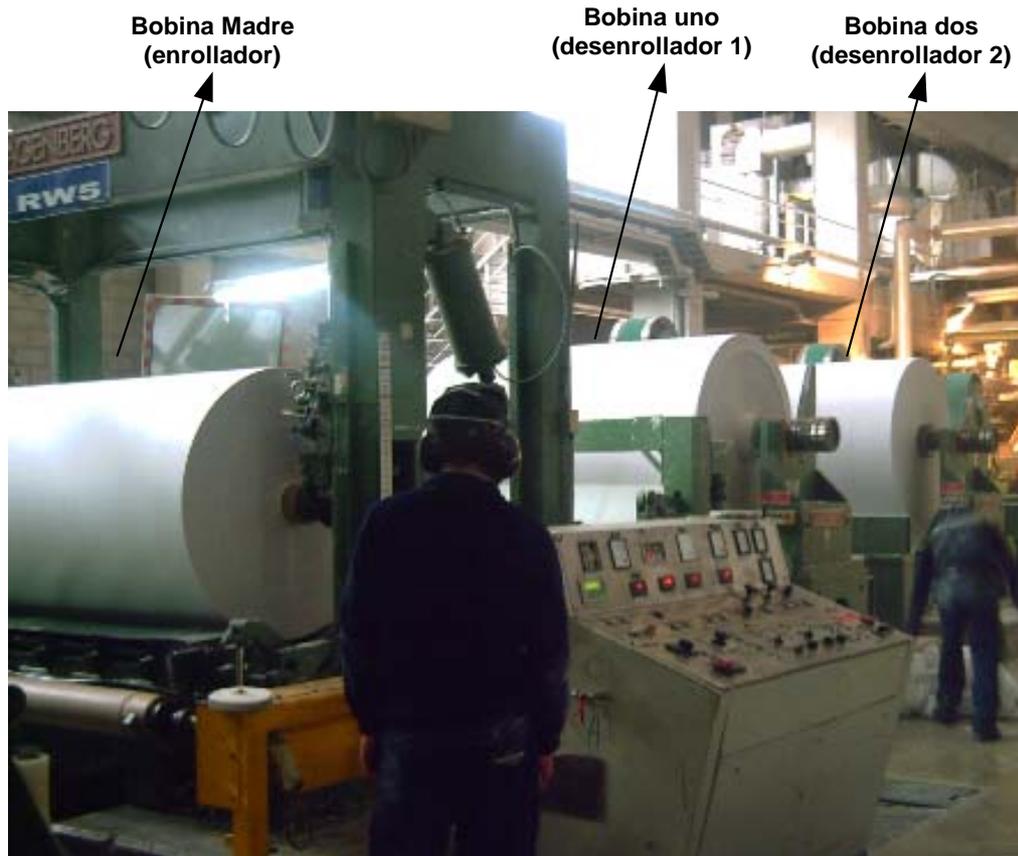


Figura 3.15 Máquina Rebobinadora RW5.

Los indicadores de velocidad de la máquina e indicadores de retraso de velocidad eran de tecnología antigua y caduca, por lo que fueron reemplazados por indicadores digitales de la marca Red Lion (figura 3.16).

Indicador de velocidad de la máquina

Indicador de velocidad del calander

Indicador de retraso de velocidad bobina 1

Indicador de retraso de velocidad bobina 2



Figura 3.16 Indicadores digitales

3.2.5.- Operación de las protecciones

La operación eficaz de las protecciones es de suma importancia en la máquina pues permite prevenir accidentes de índole laboral.

Para tal efecto, las protecciones con las que cuenta la máquina son:

a) Físicas

- 1) Microswitch banda de la banana uno o dos recorrida.
- 2) Microswitch diámetro máximo de la bobina enrollada.
- 3) Barrera de luz para no dejar bajar la mesa pasa bobinas.
- 4) Frenos electro neumáticos de los motores de c.c.
- 5) Switch de baja y alta presión

b) Eléctricas

- 1) Sobre corriente y sobrecarga de los motores eléctricos.
- 2) Sobre corriente y sobrecarga en las fuentes de alimentación.
- 3) Sobre corriente salidas del PLC.
- 4) Errores de Funcionamiento de los Drive's Programables
 - a. Falta de fase
 - b. Sobrevoltaje
 - c. Subtensión
 - d. Sobre corriente
 - e. Sobrecarga
 - f. Pérdida de campo
 - g. Pérdida de la señal del taco generador, etc.

c) Paradas de Emergencia

Según la Directiva 98/37/CE Máquinas⁷, de las normas europeas, las paradas de emergencia, y otras consideradas de alta prioridad, por ninguna razón deben depender de la programación interna en el PLC, sino que deben desactivar físicamente los elementos de fuerza necesarios para que la máquina se detenga. Las paradas de emergencia (figura 3.17) se hallan distribuidas en lugares estratégicos de la máquina,

⁷ www.ffii.nova.es/puntoinfomcyt/Directivas.asp?Directiva=98/37/CEnormas_maquinas.htm

para que el operador realice un paro inmediato de la máquina en el caso de producirse algún evento no deseado.



Figura 3.17 Parada de emergencia

3.2.6.- Ensayo de Fallas

Estas pruebas se lo realizaron al terminar la implementación de la nueva tecnología de control bajo la plataforma Simatic S7-300, las mismas que se encuentra en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Ensayo de fallas de la Máquina RW5

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	Nº DE ENSAYOS	REPETIBILIDAD	Nº DE FALLA
AE00.N1-S21	Selector de seguridad del circuito de control para realizar mantenimiento	2	2	falla 1
HB01.N1-S4	Pulsante stop normal (reduce la velocidad por una rampa)	10	10	falla 2
HB01.N1-S6	Paro de emergencia	10	10	falla 3
HL10.N1-P1	Contacto N.C. del contador de metros (stop de emergencia)	5	5	falla 4
HB28.N1-S11	Microswitch N.O de stop normal se activa con el pie	5	5	falla 5
HB41.N1-S15	Microswitch N.O cierra si freno neumático motor DC B.M. está desactivado	8	8	falla 6
BD11.N1-S16	Microswitch N.O. de seguridad de la banda B.1	4	4	falla 7
BD21.N1-S16	Microswitch N.O de seguridad de la banda B.2	4	4	falla 8

HA10.N1-F1	Microswitch N.O de presión de aire de la máquina	6	6	falla 9
HH81.N1-F1	Microswitch N.O de presión de aire cuchillas pegadas	6	6	falla 10
HL44.N1-S15	Microswitch N.C seguridad del diámetro máximo de la B.M	10	10	falla 11
HN02.N1-B1.no	Contacto N.O de la barrera de luz (seguridad de la mesa pasa-bobina B.M)	10	10	falla 12
HR41.N1-S15	Microswitch N.O de seguridad de la mesa que baja la bobina al suelo B.M	10	10	falla 13
HB01.D1-F3	Térmico, para proteger la alimentación del circuito de la armadura D.B.M	10	10	falla 14
HB01.H1-F6	Anemómetro del motor ventilador de la B.M	5	5	falla 15
HB01.D1-Q1	Guardamotor, para proteger motor ventilador de la B.M	5	5	falla 16
HB01.H1-G1	Salida a 24 Vdc del D.B.M, (falla drive)	5	5	falla 17
HB01.D1-Q2	Guardamotor, para proteger alimentación circuito de campo D.B.M	5	5	falla 18
AE001.D1-Q3	Guardamotor, protección alimentación circuito de campo de los 3 drives	5	5	falla 19
HB61.D1-F3	Térmico, para proteger la alimentación del circuito de la armadura D.B.1	5	5	falla 20
HB61.H1-F6	Anemómetro del ventilador motor de la B.1	5	5	falla 21
HB61.D1-Q1	Guardamotor, para proteger motor ventilador de la B.1	5	5	falla 22
HB61.H1-G1	Salida a 24 Vdc del D.B.1, (falla drive)	5	5	falla 23
HB61.D1-Q2	Guardamotor, para proteger alimentación circuito de campo D.B.1	5	5	falla 24
HB62.D1-F3	Térmico, para proteger la alimentación del circuito de la armadura D.B.2	5	5	falla 25
HB62.H1-F6	Anemómetro del motor ventilador de la B.2	5	5	falla 26
HB62.D1-Q1	Guardamotor, para proteger motor ventilador de la B.2	5	5	falla 27
HB62.H1-G1	Salida a 24 Vdc del D.B.2, (falla drive)	5	5	falla 28
HB62.D1-Q2	Guardamotor, para proteger alimentación circuito de campo D.B.2	5	5	falla 29

El análisis de la tabla 3.1 de Ensayo de Fallas, se puede ver claramente que los detectores de fallas funcionan y mandatoriamente lo deben hacer en un 100% de ensayos, cumpliendo con los requerimientos de diseño de toda máquina.

3.3.- COSTO DE EQUIPOS

En la tabla 3.2 se detalla los elementos proporcionados por el Departamento de Compras, los mismos que se adquirieron bajo pedido, los demás componentes fueron provistos de la Bodega General.

Tabla 3.2 Accesorios con precio unitario actual

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNIDAD (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	CPU 313-C 2DP		2200	2200
2	6ES7307-1EA00-0AA0 FUENTE DE CARGA	FUENTE DE 24 Vdc	190	380
2	6ES7390-1AF30-0AA0 SIMATIC S7-300 PER. SO	BASTIDOR	200	400
5	6ES7321-1FH00-0AA0 SIMATIC S7-300 16EN DIG	16 ENTRADAS DIGITALES 120/230V 1A	250	1250
6	CONECTOR DE 20 POLOS		120	720
1	6ES7322-1FH00-0AA0 SIMATIC S7-300 16SA DIG	16 SALIDAS DIGITALES 120/230V 1A	450	450
4	DRIVES PROGRAMABLES SIMOREG		300	1200
5	RIEL DIN		15	75
300	BORNERA RIEL DIN CABLE 16A 18MM – 4MM		0,5	150
50	BORNERA PORTA FUSIBLE		0,6	30
50	FUSIBLE DE VIDRIO DE 1 AMP.		0,1	5
20	TOPE BORNERA 12-16 AWG.		0,3	6
1000	TERMINAL TIPO PIN 18 -22 AWG		0,2	200
500	CABLE FLEXIBLE # 18		0,4	200
2	NUMERADORES TIPO ANILLO 20-10 AWG 0 – 9		20	40
2	NUMERADORES TIPO ANILLO 20-10 AWG LETRAS		20	40
TOTAL (USD)				7346

3.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES

Con la automatización realizada, en base a la plataforma del PLC Simatic S7-300, el sistema MESTRO-ESCLAVO con los drive's SIMOREG programables para controlar a los motores de c.c., y la implementación de una OP para las alarmas de la máquina se ha logrado:

- Eliminar la posibilidad de averías en la secuencia de arranque de la máquina RW5 ocasionadas por fallas en las bobinas y contactos de los relés electromecánicos, ya que estos elementos fueron reemplazados por líneas de programa que se ejecutan en el PLC.
- Permitir al eléctrico o instrumentista del Departamento de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, detectar con mayor rapidez las fallas eléctricas en los elementos de seguridad y protección de la máquina, pues en el panel OP3 se despliega un texto indicando exactamente cual es la avería de la máquina
- Incrementar la calidad de las bobinas de papel para exportación y consumo interno que produce la máquina gracias a la correcta sincronización de velocidad entre los cuatro motores de c.c.
- Incrementar la vida útil, confiabilidad, velocidad y seguridad de la máquina. En consecuencia, el proyecto cumple con los objetivos y metas técnicas trazadas.
- La arquitectura montada, deja abierta la posibilidad de crear un sistema SCADA para toda el Área de molinos, dado que otras máquinas actualmente ya están implementadas en base a PLC's escalables y compatibles con una interfaz de comunicación industrial, tal como Profibus DP.

Sin embargo, entre las limitaciones, se puede anotar las siguientes:

- El templado de hoja o retraso de velocidad de los dos motores de c.c. de los desenrolladores es un control a lazo abierto, lo que ocasiona que el operador tenga que subir la velocidad de la máquina lentamente.
- Todavía hay muchos procesos que dependen de partes mecánicas, tales como: levas, bandas de las bananas para sujetar las bobinas a desenrollar, sincronización para apertura y cierre de electroválvulas. En todo caso, la totalidad de los casos citados escapan del diseño planteado y del presupuesto asignado para el proyecto.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del desarrollo del presente trabajo de automatización en la máquina rebobinadora Jagenberg-Rewinder se pone a consideración las conclusiones y recomendaciones alcanzadas en todo el trayecto de la realización del proyecto.

4.1.- CONCLUSIONES

- En la fábrica Productos Familia Sancela del Ecuador se automatizó e implementó un sistema multidrives para el control de tensado de hoja de la máquina rebobinadora Jagenberg-Rewinder.
- La implementación del proyecto permitió incrementar los niveles de producción, mejorar el orden en el trabajo e incrementar la velocidad de la máquina.
- En la máquina rebobinadora Jagenberg-Rewinder se realizó un Upgrade, ya que se realizó cambios radicales en el hardware, debido a que se hizo el reemplazo de drives y se incluyó un PLC para reemplazar la lógica de control basada en relés electromecánicos.
- El conocimiento adquirido del software de programación para los drives, PLC y Panel de Operador permitió realizar una sincronización de velocidad entre los cuatro motores de corriente continua acorde a los requerimientos de la máquina.

- El cambio de la lógica de control vía PLC, en lugar del control electromecánico por relés representa enormes ventajas tales como: escalabilidad, facilidad de diagnóstico, mantenimiento reducido, miniaturización, implementación de aplicaciones HMI/SCADA y posibilidad de comunicación.
- El realizar proyectos de grado es fundamental en el desarrollo de un profesional, porque permite enriquecer de conocimientos prácticos y reales en el campo industrial.

4.2. RECOMENDACIONES

- Antes de realizar la automatización de una máquina es necesario analizar los factores previos al diseño, para plantear la solución de las necesidades creadas y conocer cual es la información requerida y necesaria.
- Utilizar cables apantallados desde el transmisor hacia el controlador para atenuar ruidos eléctricos presentes en el medio, y así evitar la excesiva variación de las señales eléctricas.
- En el proceso de selección y dimensionamiento de la plataforma del PLC se recomienda en primer lugar determinar el número y tipo de entradas/salidas, luego seleccionar la CPU de acuerdo a la capacidad de memoria y velocidad requeridas, y finalmente antes de realizar la programación del mismo, elaborar un diagrama esquemático de las entradas/salidas.
- Debido a que los dispositivos electrónicos que se han montado están en un ambiente cargado de pelusa se recomienda dar la debida limpieza, para evitar daños en su desempeño e incluso daños irreparables en los mismos.
- Antes de la instalación y puesta en marcha de los convertidores AC/DC, y en general de cualquier equipo electrónico, se recomienda leer los manuales y especificaciones técnicas.

- Que la empresa continúe con su apertura hacia los estudiantes, para que ellos puedan seguir realizar pasantías y prácticas profesionales, que llevan al mejoramiento del futuro profesional.

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

- [1] www.papelnet.cl/papel_tissue/papel_tissue.htm
- [2] <http://html.rincondelvago.com/automatizacion.html>
- [3] CEKIT S.A., “Electrónica Industrial y Automatización”, Tomo 2, Colombia 2002
- [4] KOSOW, “Máquinas eléctricas y Transformadores”. Prentice-Hall, 1993.
- [5] <http://www.icubo.org/home.htm>
- [6] SIEMENS, “Simoreg DC Master. Instrucciones de Servicio”, Alemania, 1998
- [7] FAMILIA, “Mantenimiento Eléctrico-Manuales Varios”. Colombia, 2005
- [8] <http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>
- [9] http://www.automatas.org/redes/tutorial_red_1.htm
- [10] <http://www.tvtronica.com.ar/index.html>
- [11] JAGENBERG. “Technische Daten”, Germany, 1981
- [12] BROWN BOVERI & CIA. “Veritron Antrieb”, Germany, 1980
- [13] SIEMENS, “Comunicación Industrial y Dispositivos de Campo”, Alemania, 2000.
- [14] SIEMENS ENERGY & AUTOMATION, “Sistema de automatización Simatic S7-300 CPU 31xC y CPU 31x, Datos técnicos”, Alemania, 2006.
- [15] SIEMENS ENERGY & AUTOMATION, “Sistema de automatización Simatic S7-300 Datos de los módulos”, Alemania, 2004.
- [16] SIEMENS, “Simatic HMI Panel de Operador OP3. Manual del Equipo”, Alemania, 1999.

- [17] SIEMENS, "Simatic HMI ProTool. Configurar equipos de líneas. Manual de usuario", Alemania, 2001.
- [18] MOHAN, Undeland, Robbins. "Power Electronics: Converters, Applications and Design". J. Wiley, 1989.
- [19] RASHID. "Power electronics: Circuits, Devices and Applications". Prentice-Hall, 1993
- [20] <http://eya.swin.net>
- [21] <http://www.automatas.org>
- [22] <http://www.redlion.net>
- [23] <http://www.siemens.com/automation/service&support>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ABC DE PAROS.- Documento del Departamento de Producción de Productos Familia Sancela del Ecuador, donde se detalla el período de actividad y paros de las máquinas del Área de Molinos.

AC.- Alternating Current.

AWL.- Lenguaje de programación por lista de instrucciones de los PLC's Siemens.

CPU.- Central Process Unit. Unidad Central de Procesamiento.

DC.- Direct Current. Corriente Directa.

Drive's.- Son convertidores de corriente alterna a corriente continua.

D.B.1.- Drive bobina 1.

D.B.2.- Drive bobina 2.

D.B.M.- Drive bobina madre.

FEM.- Fuerza electromotriz.

HARDWARE.- Todos los elementos físicos del computador o PLC.

HMI.- Interface Máquina Humano.

I.- Corriente.

Kb.- Kilo byte.

MCR.- Master Control Relay. Relé de Control Master. Es una técnica de programación de PLC's que sujeta la ejecución de varios segmentos de programa a condiciones previas de enclavamientos.

MPI.- Multi Point Interface. Interfaz propietaria de Siemens para la comunicación de los PLC Simatic S7-300/400 con la computadora de programación u otros equipos

N.O.- Normalmente abierto.

N.C.- Normalmente cerrado.

OP.- Operation Panel. Panel de Operación o pantalla.

PC.- Personal Computer. Computador Personal.

PG.- Unidad de Programación. Es una PC propietaria de Siemens que incluye entre otras cosas una interfase RS-485 que soporta directamente los protocolos MPI, PPI, Profibus-DP, etc.

PID.- Acción de control Proporcional-Integral-Derivativo.

PLC.- Controlador Lógico Programable.

Plg.- Pulgada

REPETIBILIDAD.- Grado con el cual las mediciones sucesivas varían una de otra.

SOFTWARE.- Conjunto de programas que ejecuta un computador o PLC.

S7-300.- PLC Siemens de la línea Simatic.

SCADA.- Adquisición de Datos y Control por Supervisión.

UPGRADE.- Proceso De actualización y mejoramiento del equipo que involucra cambio de hardware y firmware.

U.- Voltaje.

ANEXO A

HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DRIVESSIMOREG DC MASTER 6RA7075-6FV62-0-Z

PANEL UNIVERSAL RED LION PAXD0000

PLC SIMATIC S7-300

CPU 313C-2 DP

MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES SM 321; DI 16 x AC 120/230V

MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES SM 322; DO 16 X AC 120/230 V/1 A

FUENTE DE ALIMENTACIÓN PS 307; 5 A

SIMATIC HMI OP3

ANEXO B

PLANOS ELÉCTRICOS

ANEXO C

ESQUEMA DE PROGRAMACIÓN DE LOS DRIVES SIMOREG

ANEXO D

PROGRAMA DEL PLC

OB1 SECUENCIA DE ARRANQUE

FC3 ALARMAS PARA VISUALIZACIÓN EN LA OP3

PROYECTO_RW5 / EQUIPO SIMATIC 300

TABLA DE SIMBOLOS

ANEXO E

ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES/ANALOGICAS DE LOS ANTIGUOS DRIVES DE LA RW5 (DRIVES BBC)

Terminales en el drive		Función
X1:1	Salida	Valor real actual (+10 Vdc = Corriente nominal del equipo I_{DN} ; tensión max. con 3mA). Indicar consumo de corriente de la armadura
2		Conexión al lugar 2 de la placa (Punto 2). Condensador del tiempo del integrador
3		Conexión al lugar 3 de la placa (Punto 3). Entrada del integrador
4	Salida	+15 Vdc, tensión max. Con 100Ma
5	Entrada	Entrada del valor consigna principal deseada ($V_{max} = 15Vdc$)
6		0 V (Tierra del Regulador automático)
7	Salida	-15Vdc, tensión max. Con 100mA
8	Entrada	Entrada de voltaje del tacogenerador: $V_{taco} = 10.....33 Vdc$ ó $V_{taco} = 30.....95 Vdc$
9		0 V (Tierra del Regulador automático)
10	Salida	+24 V, tensión max. Con 200 mA carga menor en X1: 4
11	Entrada	Desbloquear drive (+24 Vdc = Regulador automático de C.C. habilitado)
12		Masa del equipo
13		Conexión al lugar 13 de la placa (Punto 13).
14	Entrada	Punto común del regulador n-automático de la referencia para ser externo
15	Entrada	Entrada del valor consigna adicional deseada ($V_{max} = 15 Vdc$)
16	Salida	Salida del valor deseado($\pm 10V = I_{soll max}$)
17	Entrada	Entrada auxiliar para los reguladores automáticos actuales
18		Masa del equipo
19	Salida	Corriente externa que limita I o II
20		0 V (Tierra del Regulador automático)
21		Conexión al lugar 21 de la placa (Punto 21).
22		Conexión al lugar 22 de la placa (Punto 22). Entrada del amplificador
23	Salida	Salida a relé del drive. Listo para funcionar = 1 (24Vdc)
24	Salida	Salida a relé del drive. Se encuentra detenido = 1 (24Vdc).Es decir $n = 0 rpm$
25	Salida	Salida a relé del drive. Falla de taco = 0 (0Vdc).
26	Salida	Salida a relé del drive. Sobrevelocidad = 1 (24Vdc)
27	Salida	Salida a relé del drive. Sobrecorriente = 0 (0Vdc)
28		0 V (Tierra del Regulador automático)
29	Salida	Entrada de voltaje del tacogenerador: $V_{taco} = 90.....280 Vdc$ ó

ANEXO F

ABC DE PAROS

ENERO DEL 2006

FEBRERO DEL 2006

MARZO DEL 2006

MES DE ENERO 2006

Motor	Descripción	Varm. nominal (V)	Varm. medido (V)	Vcampo nominal (V)	Vcampo medido (V)	Vtacog. (V)	Iarm. nominal (A)	Iarm. medido (A)	Icampo nominal (A)	Icampo medido (A)	T (°C)
RW5-M01	Motor de la bobina Madre (enrollador)	400	380	220	219	50	109	60	6,6	6,5	40,0
RW5-M02	Motor de la bobina uno (desenrollador uno)	400	360	220	219	48	49	35	6,6	6,5	37,8
RW5-M03	Motor de la bobina dos (desenrollador dos)	400	355	220	219	47	49	35	6,6	6,5	36,6
RW5-M04	Motor del rodillo calander	470	380	220	219	50	392	60	6,6	6,5	39

Motor	Descripción	Vnominal (V)	Vmedido (V)	In (A)	Iu (A)	Iv (A)	Iw (A)	T (°C)	Tcontactor (°C)
RW5-M05	Motor Ventilador de la bobina madre (enrollador)	380	440	1,8	0,9	0,9	1	32,0	28,0
RW5-M06	Motor Ventilador de la bobina uno (desenrollador uno)	380	438	1,3	0,8	0,7	0,82	34,0	29,0
RW5-M07	Motor ventilador de la bobina dos (desenrollador dos)	380	440	1,3	0,7	0,65	0,71	35,0	27,0
RW5-M08	Motor Ventilador del rodillo calander	460	440	3,35	1,5	1,49	1,51	33,0	29,0

MES DE FEBRERO 2006

Motor	Descripción	Varm. nominal (V)	Varm. medido (V)	Vcampo nominal (V)	Vcampo medido (V)	Vtacog. (V)	Iarm. nominal (A)	Iarm. medido (A)	Icampo nominal (A)	Icampo medido (A)	T (°C)
RW5-M01	Motor de la bobina Madre (enrollador)	400	390	220	219	60	109	65	6,6	6,5	42,0
RW5-M02	Motor de la bobina uno (desenrollador uno)	400	370	220	219	54	49	40	6,6	6,5	38,8
RW5-M03	Motor de la bobina dos (desenrollador dos)	400	365	220	219	52	49	40	6,6	6,5	37,6
RW5-M04	Motor del rodillo calander	470	390	220	219	60	392	65	6,6	6,5	31,0

Motor	Descripción	Vnominal (V)	Vmedido (V)	In (A)	Iu (A)	Iv (A)	Iw (A)	T (°C)	Tcontactor (°C)
RW5-M05	Motor Ventilador de la bobina madre (enrollador)	380	440	1,8	0,9	0,9	1	32,0	28,0
RW5-M06	Motor Ventilador de la bobina uno (desenrollador uno)	380	438	1,3	0,8	0,7	0,82	34,0	29,0
RW5-M07	Motor ventilador de la bobina dos (desenrollador dos)	380	440	1,3	0,7	0,65	0,71	35,0	27,0
RW5-M08	Motor Ventilador del rodillo calander	460	440	3,35	1,5	1,49	1,51	33,0	29,0

MES DE MARZO 2006

Motor	Descripción	Varm. nominal (V)	Varm. medido (V)	Vcampo nominal (V)	Vcampo medido (V)	Vtacog. (V)	Iarm. nominal (A)	Iarm. medido (A)	Icampo nominal (A)	Icampo medido (A)	T (°C)
RW5-M01	Motor de la bobina Madre (enrollador)	400	387	220	219	58	109	63,4	6,6	6,5	42,0
RW5-M02	Motor de la bobina uno (desenrollador uno)	400	368	220	219	53	49	38,5	6,6	6,5	38,8
RW5-M03	Motor de la bobina dos (desenrollador dos)	400	362	220	219	51	49	38	6,6	6,5	37,6
RW5-M04	Motor del rodillo calander	470	387	220	219	58	392	63,4	6,6	6,5	31,0

Motor	Descripción	Vnominal (V)	Vmedido (V)	In (A)	Iu (A)	Iv (A)	Iw (A)	T (°C)	Tcontactor (°C)
RW5-M05	Motor Ventilador de la bobina madre (enrollador)	380	440	1,8	0,9	0,9	1	32,0	28,0
RW5-M06	Motor Ventilador de la bobina uno (desenrollador uno)	380	438	1,3	0,8	0,7	0,82	34,0	29,0
RW5-M07	Motor ventilador de la bobina dos (desenrollador dos)	380	440	1,3	0,7	0,65	0,71	35,0	27,0
RW5-M08	Motor Ventilador del rodillo calander	460	440	3,35	1,5	1,49	1,51	33,0	29,0

Latacunga, Abril del 2006

ELABORADO POR:

Franklin Gerardo Loma Sinchiguano

Héctor Abel Panchi Masapanta

APROBADO POR:

Ing. Nancy Guerrón Paredes
DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA
E INSTRUMENTACION

CERTIFICADO POR:

Dr. Eduardo Vásquez
SECRETARIO ACADÉMICO