

57



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**"DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UN  
SISTEMA ELECTROMECAÁNICO  
APLICADO EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE PAPEL"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
AREA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**

**P R E S E N T A N**

**MARTHA MORENO PÉREZ  
FÉLIX LUVIANO GARCÍA  
ALEJANDRO CORTÉS GONZÁLEZ  
EDGAR OCHOA SÁNCHEZ  
RICARDO TORNER CASTILLO**

**Director de tesis: M.I. Lauro Santiago Cruz**



**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**2001**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## PRÓLOGO

En México, la Industria de Celulosa y Papel cuenta con 71 empresas que producen anualmente 750,000 toneladas de celulosa y aproximadamente 2 millones de toneladas de papel.

Muchos productos son de papel, no solamente el periódico. Existen diferentes tipos de papel, para empaque, escritura e impresión, para fines sanitarios, etc. El papel se emplea también como material aislante, por ejemplo, en la fabricación de cables y transformadores.

Las máquinas empleadas en la Industria del Papel y Celulosa demanda grandes exigencias técnicas y tecnológicas para cumplir con la elaboración y producción de papel bajo normas y estándares de calidad a nivel Internacional.

En el presente trabajo se describe el diseño e integración de un sistema electromecánico aplicado en el proceso de fabricación de papel.

El objetivo principal del mismo, es conseguir el incremento en la productividad de papel dentro de una empresa actualmente operando, que para fines de presentación en este trabajo, se ha nombrado Fábrica de papel Los Reyes.

La estructura del trabajo comprende siete capítulos, cuyo contenido se esboza a continuación:

En el capítulo I se presenta una breve historia del proceso de fabricación de papel, mencionando la evolución que ha experimentado en sus técnicas hasta nuestros tiempos, el enfoque de una necesidad actual y a partir de esta fijar los objetivos del trabajo.

En el capítulo II se describen los conceptos básicos que involucran a los elementos que conforman a una máquina para producir papel y los auxiliares que se pueden utilizar para la automatización de ésta.

En el capítulo III se describe con más detalle el proceso de fabricación de papel, partiendo desde la llegada de la materia prima, hasta la obtención del papel ya terminado. Se hace un análisis por secciones de la máquina, para la determinación de requerimientos.

El capítulo IV contiene el diseño desglosado en módulos, así como la configuración del hardware y software.

En el capítulo V se describe la implementación del diseño, así como de una recopilación de las pruebas y adecuaciones hasta su puesta a punto.

En el capítulo VI se describe la puesta en marcha del sistema, las pruebas realizadas al equipo y algunas de sus evidencias.

En el capítulo VII se presentan los resultados y conclusiones acerca de las pruebas mencionadas en el capítulo VI.

Finalmente, se presenta la bibliografía consultada y los apéndices que complementan la información contenida en este trabajo.

**ÍNDICE TEMÁTICO**

**PRÓLOGO** ..... /

**CAPÍTULO 1**

**1. INTRODUCCIÓN** ..... **1**

    1.1. ANTECEDENTES ..... 1

        1.1.1. Historia del papel ..... 1

        1.1.2. Fabricación manual del papel ..... 2

        1.1.3. Construcción de la primera máquina ..... 3

        1.1.4. Fabricación mecanizada de papel ..... 3

    1.2. ENFOQUE DE UNA NECESIDAD ACTUAL ..... 4

        1.2.1. Objetivos ..... 5

**CAPÍTULO 2**

**2. CONCEPTOS BÁSICOS** ..... **6**

    2.1. SECCIONES DE LA MÁQUINA PARA FABRICAR PAPEL ..... 6

        2.1.1. Refinadores ..... 7

        2.1.2. Caja Principal ..... 8

        2.1.3. Mesa de formación ..... 11

        2.1.4. Prensas ..... 12

        2.1.5. Secadores ..... 13

        2.1.6. Calandra y Enrollador ..... 15

    2.2. ELEMENTOS AUXILIARES DE LA MÁQUINA ..... 16

        2.2.1. Sensores y Transductores ..... 16

            a) Características de los transductores ..... 17

            b) Características de la magnitud a medir ..... 17

            c) Características eléctricas ..... 18

            d) Características mecánicas ..... 19

            e) Características de actuación ..... 19

            f) Características estáticas ..... 19

            g) Características dinámicas ..... 20

            h) Características del medio ambiente ..... 21

            i) Características de confiabilidad ..... 22

        2.2.2. Medidores de Flujo ..... 22

        2.2.3. Medidores de Nivel ..... 23

        2.2.4. Transformador Diferencial Variable Lineal ..... 24

        2.2.5. Medidores de Presión ..... 26

        2.2.6. Galgas Extensométricas ..... 28

        2.2.7. Medidores de Consistencia ..... 30

            a) Métodos de medición de consistencia ..... 31

        2.2.8. Sensor de Peso Base ..... 31

        2.2.9. Sensor de Humedad ..... 33

        2.2.10. Medidores de Velocidad ..... 34

2.2.11. Actuadores .....	35
a) Actuadores de Tipo Membrana .....	35
b) Actuadores de Pistón .....	35
c) Actuadores Eléctricos .....	36
2.2.12. Válvulas .....	36
2.2.13. Motores .....	38
a) Tipos de Motores .....	38
b) Motores de Inducción .....	39
c) Clases de Motores de Inducción .....	43
d) Arranque de los Motores de Inducción .....	44
e) Control de la Velocidad de los Motores de Inducción .....	44
f) Accionamiento de Estado Sólido para Motores de Inducción .....	46
g) Protección del Motor .....	46
2.2.14. Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos .....	46
2.2.15. Acondicionadores de Señal .....	47
2.2.16. Sistemas de Conversión Analógica a Digital .....	48
a) Teorema General del Muestreo .....	50
b) Convertidores Analógico-Digital .....	50
2.2.17. Transmisión de Señales Analógicas .....	54
2.3. SISTEMAS DE LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO .....	56
2.3.1. Modos de Control .....	58
2.3.2. Control ON - OFF .....	59
2.3.3. Control Proporcional .....	59
2.3.4. Control Integral .....	60
2.3.5. Control Proporcional-Integral .....	60
2.3.6. Control Proporcional-Derivativo .....	61
2.3.7. Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID) .....	62
2.3.8. Sintonización Ziegler-Nichols de controladores PID .....	62

### **CAPÍTULO 3**

<b>3. ANÁLISIS PARA EL DISEÑO .....</b>	<b>66</b>
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO .....	66
3.1.1. Preparación de pasta .....	66
3.1.2. Propiedades del papel .....	68
3.1.3. Producción del papel .....	69
3.2. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS .....	72
3.2.1. Sección de alimentación de pasta .....	73
3.2.2. Sección de la caja principal .....	74
3.2.3. Sección de la mesa de formación .....	75
3.2.4. Sección de prensas .....	75
3.2.5. Sección de secadores .....	76
3.2.6. Sección de calandra y enrollador .....	76
3.2.7. Arquitectura del Sistema de Control .....	78
3.2.8. Sistema de adquisición de datos .....	79

**CAPÍTULO 4**

<b>4. DISEÑO DEL SISTEMA .....</b>	<b>80</b>
4.1. DISEÑO DEL <i>HARDWARE</i> .....	80
4.1.1. Selección del equipo .....	81
a) Sección de alimentación de pasta .....	81
b) Sección de la mesa de formación .....	88
c) Sección de secadores .....	92
d) Secciones de calandra y enrollador .....	95
e) Computadora de proceso .....	99
4.1.2. Configuración general del sistema de control .....	101
4.1.3. Sistema de adquisición de datos .....	104
a) Módulo 1 .....	105
b) Módulo 2 .....	106
c) Módulo 3 .....	108
d) Módulo 4 .....	108
4.2. DESCRIPCIÓN DEL <i>SOFTWARE</i> .....	109
4.2.1. Lista de eventos que ocurren cuando el equipo es iniciado .....	112
4.2.2. Descripción general del funcionamiento del programa .....	124

**CAPÍTULO 5**

<b>5. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>125</b>
5.1. COMPRA DEL EQUIPO SELECCIONADO .....	125
5.2. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA .....	128
5.2.1. Máquina de Papel .....	128
a) Sala de Control .....	129
b) Diagrama de Instalación .....	129
c) Montaje de Instrumentos y Válvulas .....	133
d) Cableado .....	134
5.2.2. Integración del equipo de cómputo .....	138
a) Gabinete principal .....	139
b) Centro de carga local .....	140
c) Computadora .....	141
d) Tarjetas electrónicas de la computadora .....	143
e) Módulo programable .....	148
f) Panel de conexiones .....	152
5.2.3. Carga del programa de aplicación .....	163

**CAPÍTULO 6**

<b>6. PUESTA EN OPERACIÓN .....</b>	<b>167</b>
6.1. LIBERACIÓN DEL SISTEMA .....	168

**CAPÍTULO 7**

<b>7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>173</b>
7.1. RESULTADOS.....	173
7.2. CONCLUSIONES .....	174

**BIBLIOGRAFÍA**  
**APÉNDICES**



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1. Valores de sintonización Ziegler Nichols para un decaimiento de 0.25. ....	64
Tabla 2.2. Valores de sintonización Ziegler Nichols para una estabilidad límite. ....	65
Tabla 3.1. Velocidades de la máquina para diferentes tipos de papel. ....	70
Tabla 3.2. Lista de requerimientos de la sección de alimentación de pasta. ....	74
Tabla 3.3. Lista de requerimientos de la caja principal. ....	74
Tabla 3.4. Requerimiento de la mesa de formación. ....	75
Tabla 3.5. Requerimiento de la sección de prensas. ....	76
Tabla 3.6. Lista de requerimientos en la tercera sección de secadores. ....	76
Tabla 3.7. Lista de requerimientos en las secciones de calandra y enrollador. ....	77
Tabla 3.8. Requerimientos del Sistema de Control. (Continúa) ....	78
Tabla 4.1. Tabla comparativa del transmisor de consistencia. (Continúa) ....	81
Tabla 4.2. Tabla comparativa de la válvula de dilución. ....	83
Tabla 4.3. Tabla comparativa del Transmisor de flujo. ....	85
Tabla 4.4. Tabla comparativa de la válvula de flujo de pasta. ....	87
Tabla 4.5. Tabla comparativa de los actuadores neumáticos del distribuidor de flujo. ....	89
Tabla 4.6. Tabla comparativa de medidor de velocidad. (Continúa) ....	90
Tabla 4.7. Tabla comparativa del transmisor de presión. ....	92
Tabla 4.8. Tabla comparativa de la válvula para regular el paso de vapor. ....	94
Tabla 4.9. Tabla comparativa del sensor de peso. (Continúa) ....	95
Tabla 4.10. Tabla comparativa del sensor de humedad. ....	97
Tabla 4.11. Tabla comparativa de la computadora de proceso marca Accuray. ....	100
Tabla 4.12. Vectores de interrupción empleados en la inicialización. ....	111
Tabla 4.13. Nombres de las subrutinas de entrada / salida. ....	120
Tabla 5.1. Acuse de recibo. (Continúa) ....	127
Tabla 5.2. Identificación de los cables de la caja de conexión. (Continúa) ....	135
Tabla 5.3. Identificación de señales de control. (Continúa) ....	137
Tabla 5.4. Distribuciones correspondientes entre el panel de control y las tarjetas MDC. ....	155
Tabla 5.5. Asignaciones de las terminales de la tarjeta PRI. (Continúa) ....	156
Tabla 5.6. Asignación de terminales en la tarjeta PRI. ....	159
Tabla 5.7. Asignación de terminales de la tarjeta PRC. ....	160
Tabla 5.8. Asignación de terminales de la tarjeta SSI. ....	160
Tabla 5.9. Especificación de conexiones finales. (Continúa) ....	162
Tabla 6.1. Certificación del sistema de control. (Continúa) ....	169
Tabla 6.2. Certificación de funcionamiento. ....	170

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1. Diagrama de bloques de una máquina para fabricar papel.....	6
Figura 2.2. Tipos de refinadores.....	7
Figura 2.3. Tipos de alimentador más comunes.....	8
Figura 2.4. Tipos de cajas principales.....	9
Figura 2.5. Distribuidor de flujo.....	10
Figura 2.6. Elementos de la mesa de formación.....	11
Figura 2.7. Rodillos de prensado.....	12
Figura 2.8. Tipos de transmisión hacia la sección de prensas.....	12
Figura 2.9. Arreglos de prensas.....	13
Figura 2.10. Cilindro secador.....	14
Figura 2.11. Arreglo de cilindros secadores.....	14
Figura 2.12. Calandra vertical.....	15
Figura 2.13. Enrollador de papel.....	16
Figura 2.14. Constitución física de un LVDT.....	25
Figura 2.15. Voltaje de salida del LVDT en función del desplazamiento del núcleo.....	25
Figura 2.16. Manómetro de Bourdon.....	27
Figura 2.17. Configuración típica de una galga extensométrica.....	29
Figura 2.18. Principio de medición del sensor de peso base.....	32
Figura 2.19. Diagrama del principio de medición de un sensor de humedad.....	33
Figura 2.20. Pistón de doble efecto.....	36
Figura 2.21. Válvula tipo globo.....	37
Figura 2.22. Sección de un motor de inducción con rotor jaula de ardilla.....	39
Figura 2.23. Rotor tipo jaula de ardilla.....	40
Figura 2.24. Rotor devanado.....	41
Figura 2.25. Diagrama esquemático de un sistema de adquisición de datos.....	47
Figura 2.26. Diagrama general de un sistema de conversión A-D.....	49
Figura 2.27. Convertidor A/D de rampa de escalera.....	51
Figura 2.28. Conversión A/D por aproximaciones sucesivas.....	52
Figura 2.29. Conversión A/D de doble rampa.....	53
Figura 2.30. Transmisión de una señal analógica.....	56
Figura 2.31. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	57
Figura 2.32. Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	57
Figura 2.33. Representación de un sistema de control.....	58
Figura 2.34. Curva de reacción del proceso.....	63
Figura 2.35. Razón de decaimiento de 1/4 en respuesta a escalón de un controlador PID.....	64
Figura 3.1. Etapas del proceso para preparación de pasta.....	66
Figura 3.2. Diagrama general de la máquina "MAQ II".....	69
Figura 3.3. Requerimientos de la sección de pastas.....	73
Figura 3.4. Requerimientos a la salida de la caja principal.....	74
Figura 3.5. Requerimiento en la mesa de formación.....	75
Figura 3.6. Requerimiento en la sección de prensas.....	75
Figura 3.7. Requerimientos en la tercera sección de secadores.....	76
Figura 3.8. Requerimientos en la sección de calandreo y enrollador.....	77

Figura 3.9. Marco de medición. ....	77
Figura 3.10. Requerimientos del sistema de control. ....	78
Figura 3.11. Diagrama del sistema de adquisición de datos. ....	79
Figura 4.1. Transmisor de Consistencia marca Valmet. ....	82
Figura 4.2. Válvula de cuchilla con accionamiento eléctrico marca Dezurik. ....	84
Figura 4.3. Transmisor de flujo magnético marca Foxboro. ....	86
Figura 4.4. Válvula de flujo de pasta marca Dezurik. ....	87
Figura 4.5. Actuador neumático del distribuidor de flujo marca Accuray. ....	89
Figura 4.6. Tacómetro marca Dynapar. ....	91
Figura 4.7. Transmisor de presión marca Foxboro. ....	93
Figura 4.8. Válvula reguladora de vapor marca Dezurik. ....	94
Figura 4.9. Sensor de peso marca Accuray. ....	96
Figura 4.10. Sensor de humedad marca Accuray. ....	98
Figura 4.11. Marco de medición marca Accuray. ....	99
Figura 4.12. Computadora de Proceso marca Accuray. ....	101
Figura 4.13. Diagrama general del lazo de control. ....	102
Figura 4.14. Diagrama a bloques del modelo de control para automatizar "MAQ II". ...	103
Figura 4.15. Diagrama del sistema de adquisición de datos de señales analógicas. ...	104
Figura 4.16. Diagrama del sistema de adquisición de datos de señales digitales. ....	105
Figura 4.17. Estructura de los archivos en el Firmware. ....	118
Figura 4.18. Diagrama a bloques de las posiciones del marco de medición. ....	121
Figura 4.19. Gráfica de peso base. ....	122
Figura 4.20. Gráfica de humedad. ....	123
Figura 4.21. Gráfica de control transversal de peso. ....	123
Figura 5.1. Diagrama a bloques de la máquina de papel. ....	129
Figura 5.2. Distribución interna de la sala de control. ....	129
Figura 5.3. Diagrama a bloques de la ubicación de cada elemento del sistema. (Continúa).....	130
Figura 5.4. Ubicación de la sala de control. ....	133
Figura 5.5. Gabinete principal. ....	139
Figura 5.6. Centro de carga local. ....	140
Figura 5.7. Chasis de la computadora. ....	141
Figura 5.8. Chasis de la computadora. ....	142
Figura 5.9. Instalación de la fuente de voltaje. ....	142
Figura 5.10. Forma de insertar el conector. ....	143
Figura 5.11. Cable para la conexión entre la computadora y el centro de carga local. ....	143
Figura 5.12. Tarjeta electrónica terminadora. ....	144
Figura 5.13. Tarjeta electrónica CPU. ....	145
Figura 5.14. Switch giratorio. ....	146
Figura 5.15. Tarjeta electrónica MDC. ....	146
Figura 5.16. Tarjeta electrónica de memoria MEM. ....	147
Figura 5.17. Tarjeta electrónica terminadora. ....	147
Figura 5.18. Computadora. ....	148
Figura 5.19. Chasis del módulo programable. ....	149
Figura 5.20. Tarjeta electrónica CPU del módulo programable. ....	150
Figura 5.21. Tarjeta electrónica PRI del módulo programable. ....	150

Figura 5.22. Tarjeta electrónica PRC del módulo programable.....	151
Figura 5.23. Tarjeta electrónica SSI del módulo programable.....	151
Figura 5.24. Integración del módulo programable.....	152
Figura 5.25. Panel de conexiones.....	152
Figura 5.26. Identificación de terminales del puerto de comunicación RS 232.....	153
Figura 5.27. Esquema de conexiones entre los adaptadores y el panel de control.....	154
Figura 5.28. Vista lateral del chasis.....	155
Figura 5.29. Conectores para el panel de conexiones.....	159
Figura 5.30. Conexión entre la caja de unión y el panel de conexiones.....	161
Figura 5.31. Pantalla de menú inicial.....	164
Figura 5.32. Pantalla de inicio del programa FLEX.....	165
Figura 5.33. Pantalla de comandos del FLEX.....	165
Figura 6.1. Gráfica de peso y humedad inicial.....	171
Figura 6.2. Gráfica de peso y humedad a los 45 seg.....	171
Figura 6.3. Gráfica de peso y humedad a los 120 seg.....	172

**CAPÍTULO**

**I**

**INTRODUCCIÓN**

En este primer capítulo se abordará el tema sobre la historia de la fabricación del papel, desde su forma más rudimentaria hasta llegar a las modernas máquinas Fourdrinier. También se describirá la necesidad de mejorar la productividad de la fábrica de papel "Los Reyes". De ahí, se plantearán los objetivos a cubrir dentro de este trabajo.

**1.1. ANTECEDENTES**

**1.1.1. Historia del papel**

Según la tradición, el primero en fabricar papel, en el año 105, fue Tsai-lun, un eunuco de la corte Han oriental del emperador chino Hedi. El material empleado fue probablemente corteza de morera, y el papel se fabricó con un molde de tiras de bambú. El papel más antiguo conservado se fabricó con trapos alrededor del año 150. Durante unos 500 años, el arte de la fabricación de papel estuvo limitado a China; en el año 610 se introdujo en Japón, y alrededor del 750 en Asia central. El papel apareció en Egipto alrededor del 800, pero no se fabricó allí hasta el 900 (Papiro).

El empleo del papel fue introducido en Europa por los árabes, y la primera fábrica de papel se estableció en España alrededor de 1150. A lo largo de los siglos siguientes, la técnica se extendió a la mayoría de los países europeos.

El proceso básico de la fabricación de papel no ha cambiado a lo largo de más de 2,000 años, el cual implica dos etapas: trocear la materia prima en agua para formar una suspensión de fibras individuales y formar láminas de fibras entrelazadas extendiendo dicha suspensión sobre una superficie porosa adecuada que pueda filtrar el agua sobrante.

### 1.1.2. Fabricación manual del papel

En la fabricación manual de papel, la materia prima (paja, hojas, corteza, trapos u otros materiales fibrosos) se coloca en una tina o batea y se golpea con un mazo pesado para separar las fibras. Estas fibras se diluyen en agua para formar la pasta primaria lista para fabricar papel. La principal herramienta del papelerero es el molde, una tela metálica reforzada con mallas cuadradas o rectangulares.

El molde se coloca en un bastidor móvil de madera, y el papelerero sumerge el molde y el bastidor en una tina llena de esta pasta. Cuando los saca, la superficie del molde queda cubierta por una delgada película de pasta primaria. El molde se agita en todos los sentidos, lo que produce dos efectos: distribuye de forma uniforme la mezcla sobre su superficie y hace que las fibras adyacentes se entrelacen, lo que proporciona resistencia a la hoja. Mientras se agita el molde, gran parte del agua de la mezcla se filtra a través de la tela metálica. A continuación se deja descansar el molde, con la hoja de papel mojado, hasta que ésta tiene suficiente cohesión para poder retirar el bastidor.

Una vez retirado el bastidor del molde, se da la vuelta a este último y se deposita con suavidad la hoja de papel sobre una capa de fieltro. Después se coloca otro fieltro sobre la hoja, se vuelve a poner una hoja encima y así sucesivamente. Cuando se han colocado unas cuantas hojas de papel alternadas con fieltros, la pila de hojas se sitúa en una prensa hidráulica y se somete a una gran presión, con lo que se expulsa la mayor parte del agua que queda en el papel. A continuación, las hojas de papel se separan de los fieltros, se apilan y se prensan. El proceso de prensado se repite varias veces, variando el orden y la posición relativa de las hojas. Este proceso se denomina intercambio, y su repetición mejora la superficie del papel terminado. La etapa final de la fabricación del papel es el secado. El papel se cuelga de una cuerda en grupos de cuatro o cinco hojas en un secador especial hasta que la humedad se evapora casi por completo.

Los papeles que se emplean para escribir o imprimir, exigen un tratamiento adicional después del secado, ya que de lo contrario absorbería la tinta quedando borrosas tanto texto como imágenes. El tratamiento consiste en sumergir al papel en una solución de cola animal, secar el papel y las hojas entre láminas de metal o cartón liso. La intensidad del prensado determina la textura de la superficie del papel. Los papeles de textura rugosa se prensan ligeramente durante un periodo relativamente corto, mientras que los de superficie lisa se prensan con más fuerza y durante más tiempo.

### **1.1.3. Construcción de la primera máquina**

El procedimiento de producción de papel a mano resultó muy costoso, por lo que se comenzó a desarrollar una máquina que reemplazara dicho proceso. La primera fue construida en 1798 por el inventor francés Nicholas Louis Robert. La máquina de Robert fue mejorada por dos papeleros británicos, los hermanos Henry y Sealy Fourdrinier, que en 1803 produjeron la primera de las máquinas que llevan su nombre.

El problema de la fabricación de papel a partir de una materia prima barata se resolvió con la introducción del proceso de obtención de pulpa de la madera por medio de su trituración, alrededor de 1840, y del primer proceso químico para producir celulosa, unos 10 años después.

### **1.1.4. Fabricación mecanizada de papel**

Aunque los procedimientos esenciales de la fabricación mecanizada de papel son los mismos que los de la fabricación manual, el proceso mecánico es bastante más complicado. La primera etapa es la preparación de la materia prima. Los materiales más usados hoy día son los trapos de algodón o lino y la pulpa de madera. En la actualidad, más del 95% del papel se fabrica con esta última.

Hoy, la mayoría del papel se fabrica en máquinas Fourdrinier, similares a la primera máquina eficaz para fabricar papel, desarrollada en los primeros años del siglo XIX. El corazón de la máquina Fourdrinier es una cinta sin fin de tela metálica que se mueve horizontalmente. La pulpa acuosa cae sobre la cinta, que va circulando sobre una serie de rodillos. Una pila poco profunda situada bajo la cinta recoge la mayor parte del agua que escurre en esta etapa. El agua se vuelve a mezclar con la pulpa para aprovechar la fibra que contiene. La extensión de la hoja de pulpa húmeda sobre la cinta se limita mediante tiras de goma que se mueven por los lados de la cinta. Las bombas de succión situadas bajo la cinta aceleran el secado del papel, y la cinta se mueve de un lado a otro para contribuir al entrelazado de las fibras. A medida que el papel avanza, pasa bajo un cilindro giratorio cubierto de tela metálica o de alambres individuales, llamado cilindro de afiligranar, que confiere al papel una textura apropiada. Además, la superficie del cilindro tiene letras o figuras trazadas con alambre que pasan al papel en forma de marcas de agua que identifican al fabricante y la calidad del papel. En los papeles fabricados a mano, las figuras de estas marcas se fijan a la superficie del molde.

Cerca del final de la máquina, la cinta pasa a través de dos rodillos cubiertos de fieltro. Estos rodillos extraen aún más agua de la tira de papel y consolidan las fibras, con lo que dan al papel suficiente resistencia para continuar pasando por la máquina sin el soporte de la cinta. La función de estos rodillos es la misma que la de los fieltros

empleados en la fabricación manual. Siguiendo con el proceso, el papel se transporta mediante una cinta de tela a través de dos grupos de cilindros de prensado de metal liso. Estos cilindros proporcionan un acabado liso a las dos superficies del papel.

Una vez prensado, el papel está totalmente formado y a continuación se pasa por una serie de rodillos calientes que completan el secado. La siguiente etapa es el satinado, un prensado con rodillos fríos lisos que producen el acabado mecánico. Al final de la máquina Fourdrinier, el papel se corta con cuchillas giratorias y se enrolla en bobinas. La fabricación del papel se completa cortándolo en hojas, a no ser que vaya a emplearse en una imprenta continua que utilice el papel en rollos.

Con la evolución de las máquinas empleadas en la Industria Papelera y de la Celulosa, las necesidades y exigencias en cuanto a volúmenes de producción, mayor calidad, diversidad de usos del papel, etc, son diferentes. El desarrollo tecnológico en el campo de la electrónica da paso a equipos de Control, Medición y Regulación que permiten trabajar a velocidades demasiado altas y con un grado de aprovechamiento óptimo.

## **1.2. ENFOQUE DE UNA NECESIDAD ACTUAL**

Actualmente, la Fábrica de Papel "Los Reyes" cuenta con dos máquinas productoras de papel; la primera de ellas, conocida como "MAQ I", funciona en forma semiautomática, logrando con ello cumplir con las características del papel físicas, químicas, ópticas y otras especificadas, tales como peso base, humedad, calibre, cenizas, color, etc., produciendo rollos de papel en un rango que va desde 20 gr./m<sup>2</sup> hasta 200 gr. /m<sup>2</sup>, utilizado para la elaboración de cuadernos, hojas carta y cartoncillo entre otros. La segunda máquina, conocida como "MAQ II", se encuentra parada debido a que su funcionamiento es de operación manual, lo que provoca que la producción obtenida se encuentre fuera de especificaciones, como las mencionadas, siendo rechazada y enviada al reciclado.

Por otro lado, la empresa produce alrededor de 40 toneladas de papel diariamente en sus tres turnos, cantidad insuficiente para satisfacer la demanda de sus clientes en Centroamérica y el Caribe, representando pérdidas millonarias. Por lo anterior, es necesario e indispensable la puesta en funcionamiento de "MAQ II", fijando como objetivo obtener una producción en promedio de 60 toneladas diarias dentro de normas y estándares de calidad con técnicas y tecnologías de nivel internacional actuales implantadas en dicha máquina.



### 1.2.1. Objetivos

En base a la problemática planteada, este trabajo propone cumplir el siguiente objetivo general:

Integrar un sistema que nos permita automatizar las diferentes etapas del proceso de la "MAQ II", para fabricar papel con características de peso base y humedad uniformes en su producción. Eligiendo la instrumentación necesaria para este efecto, existente en el mercado y factible de implementar en la máquina.

Para el logro del objetivo planteado procederemos a efectuar nuestro desarrollo considerando los siguientes aspectos:

- Estudio del proceso de manufactura del papel, que incluye el diagrama general del proceso, partes integrantes de la máquina, simbología y equipos auxiliares.
- División de la máquina por módulos, para identificar las variables a medir y determinar los requerimientos.
- Diseño del Sistema, que abarca la selección del equipo y el desarrollo de la programación.
- Finalmente la integración de los elementos, incluyendo las pruebas y adecuaciones para la liberación del Sistema.

En este capítulo se describió brevemente la evolución del proceso de fabricación del papel, se hizo una descripción de las condiciones actuales de la máquina "MAQ II", y se presentó una propuesta de solución a su problemática. El siguiente capítulo contiene los conceptos básicos, necesarios para la comprensión de los capítulos posteriores.

## CAPÍTULO

## II

## CONCEPTOS BÁSICOS

En este capítulo se darán a conocer los elementos que conforman una máquina para la fabricación de papel, el equipo auxiliar que acompañan a ésta, y algunos de los conceptos básicos necesarios para comprender el proceso de la elaboración de papel.

### 2.1. SECCIONES DE LA MÁQUINA PARA FABRICAR PAPEL

La máquina para la fabricación de papel es un sistema que se compone de elementos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos, que relacionados entre sí con otros sistemas, además de la materia prima, conforman el proceso para la elaboración de papel. La figura 2.1. muestra en forma de bloques las etapas principales del proceso de fabricación de papel.

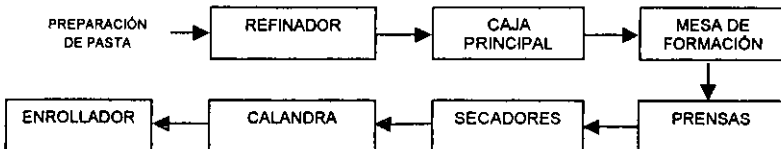


Figura 2.1. Diagrama de bloques de una máquina para fabricar papel.

El proceso de manufactura del papel inicia con la preparación de pasta, este punto es de suma importancia, ya que dependiendo de las características de la pasta será la calidad del papel ya terminado. Este proceso se describirá detalladamente en el capítulo 3.

La pasta pasa a través del refinador para darle la textura requerida. De aquí es alimentada a la caja principal para ser distribuida hacia la mesa de formación, en donde se forma la hoja, drenando la mayor parte de agua contenida en la pasta. Al final de esta sección hay un rodillo de vacío que succiona la hoja para transportarla hacia las

prensas. En las prensas se compacta la hoja para pasar a la sección del secado, en donde se retira el agua que aún lleva consigo la hoja. En la calandra se logra el terminado final de la hoja, posteriormente llega a la sección del enrollador.

Cada una de las secciones de la máquina se describen a continuación, y se da una breve explicación de su función básica.

### 2.1.1. Refinadores

El principio básico de operación de un refinador es deslizar dos superficies una contra otra para desmenuzar la madera, hasta alcanzar un determinado grado de separación de las fibras. Existen tres tipos de refinadores, los cuales dependiendo de la etapa del proceso de la preparación de la pasta, será el refinador que se utilice. En la figura 2.2 se muestran los tipos de refinadores que pueden utilizarse, los cónicos comúnmente llamados Jordán, los de ángulo abierto y los de disco.

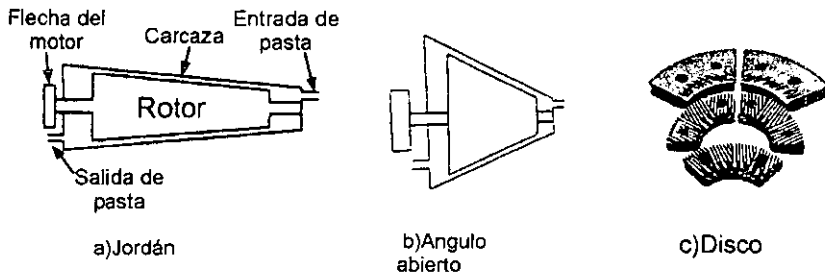


Figura 2.2. Tipos de refinadores

**a) Refinador Jordán.** Está conformado por un rotor en forma de cono dentro de un armazón cónico. La entrada tiene un diámetro pequeño y la salida tiene un diámetro mayor. El interior del armazón y el rotor están cubiertos con barras. Al girar el rotor se crea un movimiento relativo entre las barras. La posición del rotor puede ser cambiada para modificar el espaciamiento entre las barras. La pasta fluye lentamente a través del refinador y poco a poco va incrementando su velocidad. El ángulo del cono es tal que la velocidad de salida es el doble de la de entrada.

**b) De ángulo abierto.** Es muy similar al tipo Jordán, pero el ángulo del armazón es mayor, provocando que la velocidad de salida sea tres veces mayor a la de entrada. La pulpa obtenida de este tipo de refinador produce una hoja más fuerte, debido a que la pulpa tiene una mayor capacidad de adherencia. Normalmente se utiliza para reciclar la merma.

c) **De disco.** Está formado por dos discos, uno estacionario y uno movable. Cada disco tiene tres secciones de barras: las rompedoras, las intermedias y las finas. Las astillas entran al refinador y son fraccionadas por las barras rompedoras, y pasar en la zona de refinado de las barras intermedias y finas. Hay tres tipos de refinadores de disco: de disco sencillo, de disco doble y de disco giratorio con giro inverso. Este tipo de refinadores se utilizan después del astillado.

### 2.1.2. Caja Principal

La caja principal consta de tres partes que son: el alimentador de pasta, el depósito o caja principal y el distribuidor de flujo.

a) **Alimentación de pasta.** El sistema de alimentación de pasta debe llevarla hacia el depósito de la caja principal, de tal forma que sea uniformemente distribuida para mantener a un mínimo régimen la turbulencia y el flujo muerto de pasta que pasa por las cercanías de las paredes de la caja principal y evitar asentamientos. Mucha turbulencia no es deseable por la formación de espuma; si la pasta es expuesta al aire debe estar bien mezclada para evitar la formación de grumos. En la figura 2.3 se muestra los tipos de alimentadores más comunes.

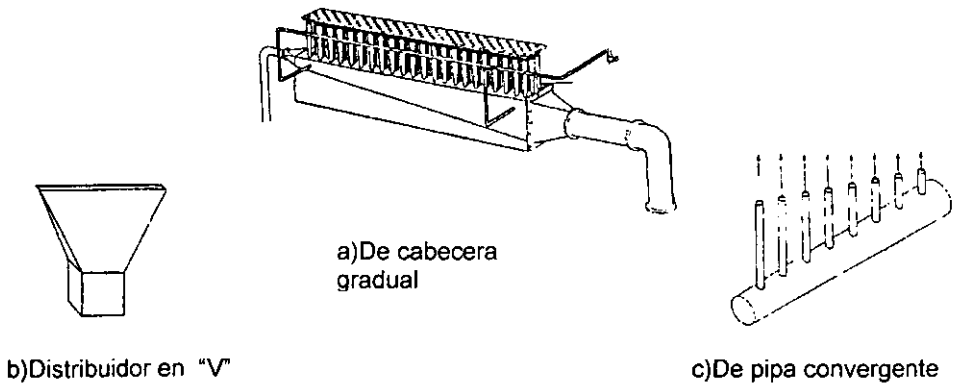
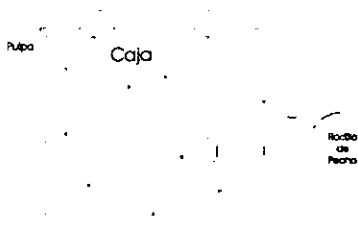


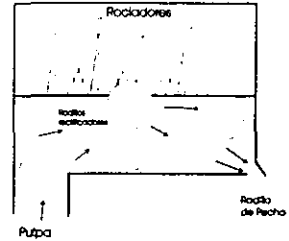
Figura 2.3. Tipos de alimentador más comunes.

Uno de los mejores tipos para distribuir el flujo a la misma velocidad hacia la caja principal es el de cabecera gradual, el cual está formado por un conducto que se reduce gradualmente con una serie de pequeños tubos conectados a éste, de tal forma que, permiten una recirculación de la pasta. Con esto se consigue una presión igual en toda la caja principal permitiendo un fluido uniforme de pasta hacia la mesa de formación.

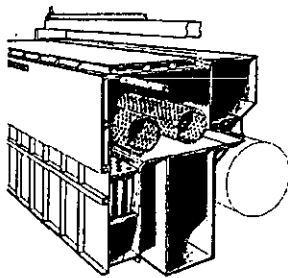
**b) Caja Principal.** El depósito ó caja principal, tiene como función recibir de manera distribuida la pasta así como evitar turbulencias, almacenarla y mantener siempre un determinado nivel, para alimentar la siguiente sección. La figura 2.4 muestra los diferentes tipos de construcción de la caja principal.



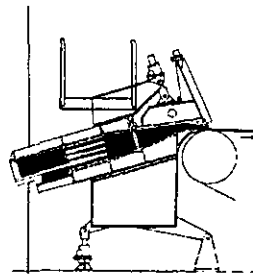
a)Caja abierta multipasos



b)Caja abierta de 5 rodillos



c)Caja presurizada



d)Caja de boquilla

**Figura 2.4. Tipos de cajas principales.**

La caja abierta multipasos es un gran tanque con barreras, rodillos rectificadores y un distribuidor de flujo. La pasta fluye de la parte trasera hacia el distribuidor. Para lograr esto, el flujo debe seguir el camino hacia arriba y abajo alrededor de las barreras. Los rodillos rectificadores son unos cilindros con orificios, que rompen los grumos. Este tipo de cajas se utiliza en máquinas pequeñas.

El diseño básico de la caja abierta de cinco rodillos, tiene 5 rodillos rectificadores y 4 rociadores. La pasta pasa primero a través de un rodillo rectificador y posteriormente por dos grupos de dos rodillos hacia el distribuidor. Los rociadores ayudan a mantener limpia la caja y evitar la formación de espuma.

En estos dos tipos de cajas los rodillos giran lentamente para evitar cualquier acumulación de pasta, y proveer una mezcla uniforme al distribuidor. Mantener el

correcto nivel de la pasta, es muy importante, ya que determina la presión de distribución.

La caja presurizada consta de: alimentador de cabecera gradual, 2 rodillos rectificadores, un rociador rotante y el distribuidor de flujo. Este tipo de caja no tiene tanque de almacenamiento, por el tipo de elementos que la forman la pasta fluye con una presión constante hacia el distribuidor.

La caja de boquilla tiene un tanque muy pequeño, la pasta pasa a través de la boquilla y de allí directamente hacia el distribuidor. No tiene rodillos rectificadores ni rociadores, porque no son necesarios. La velocidad del flujo se controla antes de la caja.

Estos dos tipos de cajas se utilizan en máquinas grandes que operan a altas velocidades, y ofrecen la ventaja de no necesitar tanque de almacenamiento.

**c) Distribuidor de flujo.** El distribuidor de flujo, también llamado regla, está formado por un labio superior y un borde ajustable, su función es entregar la hoja de pasta a la mesa de formación con el espesor y la velocidad deseados. En la figura 2.5 se muestra el distribuidor de flujo.

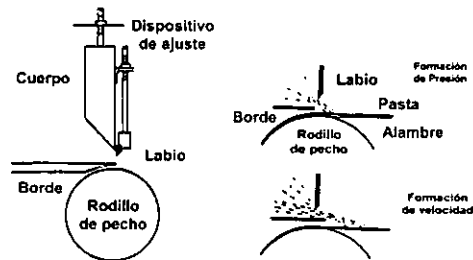


Figura 2.5. Distribuidor de flujo.

En este tipo de distribuidor, la parte inferior se mueve en dirección de la máquina, y la parte superior tiene un movimiento vertical. La distancia entre el labio y el borde determinan el ángulo de abertura. Cuando el labio se ajusta y se forma un ángulo agudo, la pasta se proyecta hacia abajo, esto se denomina formación por presión. Si el ajuste se hace de tal modo que la parte inferior sobresalga de la parte superior, el distribuidor opera con efecto de lanzadera y proyecta la pasta hacia afuera, paralela al movimiento de la tela, esto se denomina formación por velocidad.

### 2.1.3. Mesa de formación

La pasta es distribuida uniformemente de la caja principal hacia la mesa de formación, la función de la mesa de formación es eliminar gran parte del agua que contiene la pasta y dar forma a la hoja de papel. Como consecuencia, la pasta adquiere una consistencia más espesa. En la figura 2.6 se muestra un diagrama de la mesa de formación.

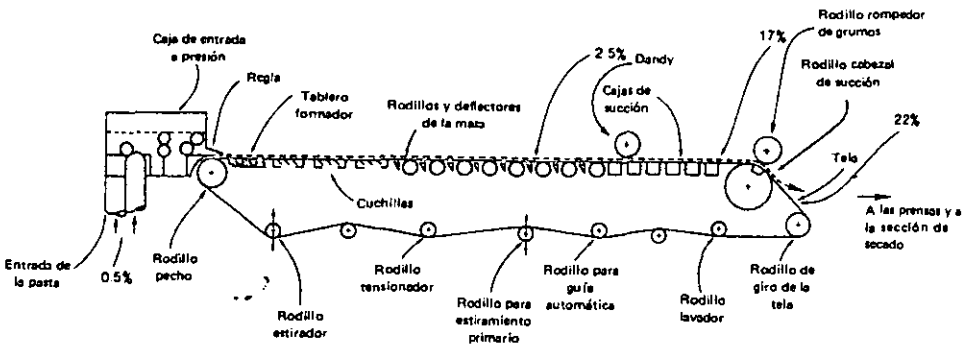


Figura 2.6. Elementos de la mesa de formación.

El drenado en la mesa de formación constituye una serie de zonas angostas en rápida sucesión de succión o de drenado, alternadas con periodos muy cortos de drenado reducido ó de ausencia de drenado, mediante la cual se forman las capas de la hoja.

La mesa de formación consta de varios elementos: un rodillo pecho, rodillo cabezal de succión, rodillo Dandy, rodillos y deflectores de mesa, cuchillas, cajas de succión, la tela y un conjunto de rodillos guía. Debajo de la mesa se encuentra un depósito que se encarga de coleccionar el agua que es drenada para ser recirculada.

La tela es una red de hule ó fibra de vidrio, va montada sobre los rodillos en un arreglo como se observa en la figura. El tablero del formador tiene la función de dar apoyo a la tela y de retardar el drenado. Los rodillos y deflectores crean una succión debido a la separación entre la tela. Las cajas de succión son cajas rectangulares, equipadas con una tapa ranurada o perforada que alcanza a cubrir todo el ancho de la tela, ejerciendo la succión a la red húmeda.

La función del rodillo Dandy es comprimir la floculación y satinar ese lado de la hoja. El rodillo cabezal ó de vacío se localiza al final de la mesa, contribuye al drenado

y sirve de enlace permitiendo que la hoja de papel continúe su proceso. Junto con el rodillo cabezal se encuentra un rodillo rompedor de grumos, que sirve para deshacer los grumos que pueden ocasionar roturas en el papel en la sección de prensas.

### 2.1.4. Prensas

Las prensas compactan y conforman la hoja de papel integrando la composición de fibras, además de continuar con el drenado de agua. La sección de prensado consta de dos rodillos, uno es sólido y el otro es de succión, éste lleva consigo un fieltro montado para facilitar el proceso de absorción, mostrado en la figura 2.7.

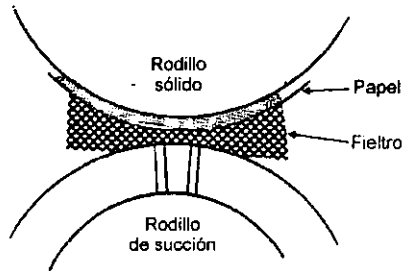


Figura 2.7. Rodillos de prensado.

Para transmitir la hoja de la mesa de formación hacia la sección de prensas existen dos configuraciones básicas, mostradas en la figura 2.8.

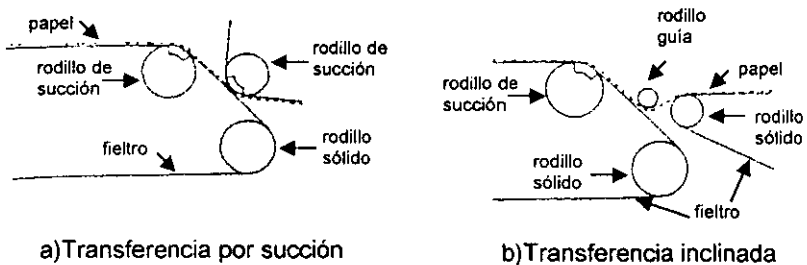


Figura 2.8. Tipos de transmisión hacia la sección de prensas.



Existen varios arreglos de prensas, cada uno sirve para darle diferente terminado al papel. En la figura 2.9 se muestran varios arreglos de prensas.

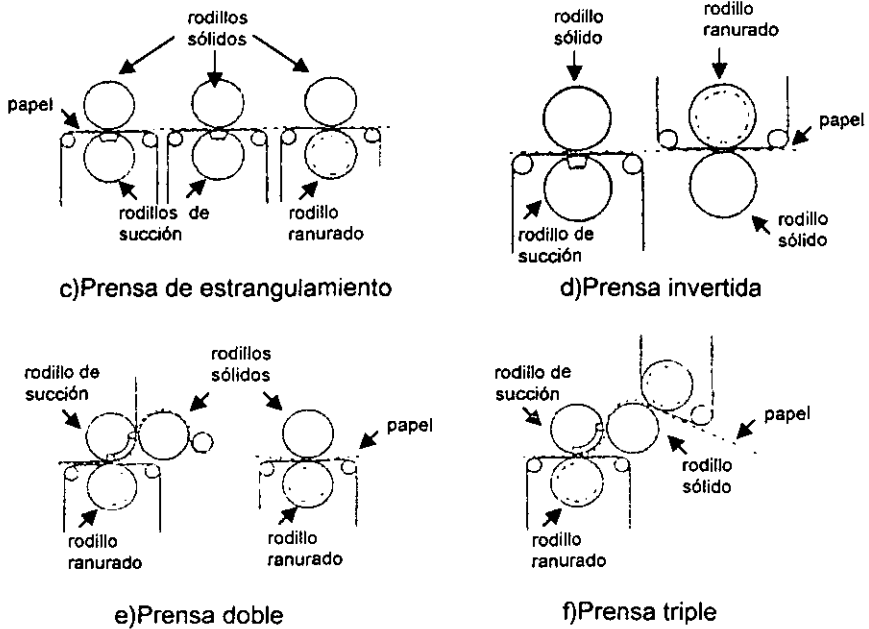


Figura 2.9. Arreglos de prensas.

El prensado por estrangulamiento tiene un arreglo de tres pares de rodillos, los primeros dos rodillos inferiores son de succión y el último es un rodillo ranurado. La prensa invertida tiene un rodillo de succión y uno ranurado en posición invertida, este tipo ayuda a mejorar la superficie de la hoja.

Los arreglos de prensas doble y triple se usan para retirar agua en ambas direcciones.

### 2.1.5. Secadores

La sección de secado de la máquina debe suministrar suficiente calor para que el papel evapore la mayor parte de agua que aún permanece en la hoja. Los secadores

son unos cilindros de aproximadamente 1.8 metros de diámetro, y 9 metros de largo. Están diseñados internamente para contener vapor y retirar el condensado. La figura 2.10 muestra un cilindro secador.

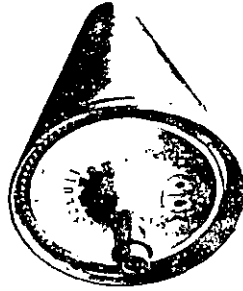


Figura 2.10. Cilindro secador.

Los cilindros normalmente son montados en dos columnas y el papel pasa entre los cilindros, subiendo y bajando. El número de cilindros de la sección de secado es variable, dependiendo del tipo de máquina, pero se tienen regularmente tres secciones. En la figura 2.11 se muestra un arreglo de cilindros secadores.

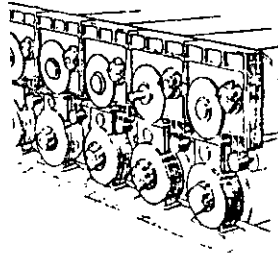


Figura 2.11. Arreglo de cilindros secadores.

Cada sección de secadores cuenta con un promedio de 10 a 20 cilindros, y funcionan a diferente velocidad, mediante un sistema de engranes. Esto es necesario para mantener la tensión adecuada en la hoja. Conforme el papel se va secando se encoge. Si todas las secciones tuvieran la misma velocidad, la hoja estará sometida a una tensión que provocará su ruptura. Por el contrario si hay poca tensión, el papel se

acumulará entre los cilindros. Por estos motivos, la velocidad debe ser cuidadosamente controlada.

### 2.1.6. Calandra y Enrollador

El propósito del calandrado es suavizar las marcas del fieltro y de la tela, asentar la pelusa, suprimir arrugas y nivelar la formación de flóculos, mediante un conjunto de rodillos. En la figura 2.12 se muestra una calandra.

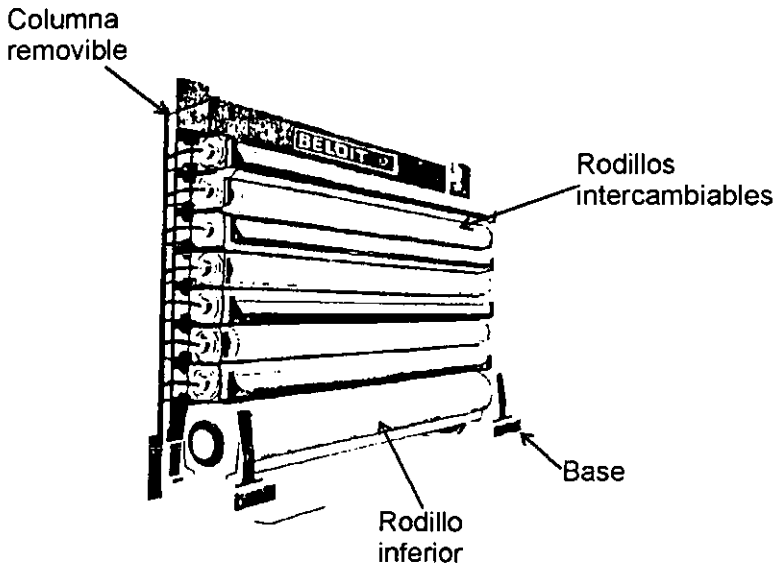


Figura 2.12. Calandra vertical.

Los rodillos son metálicos, pesados y acomodados verticalmente, los cuales ejercen alta presión para planchar la hoja. El rodillo inferior es controlado, los demás giran libremente conforme va pasando el papel. Estos rodillos mantienen su posición mediante un sistema hidráulico.

El enrollado es la parte final del proceso de fabricación del papel. El enrollador es una flecha de acero que se hace girar a velocidad variable permitiendo enrollar la hoja de papel sin que ésta se rompa. El sistema de enrollado más común se muestra en la figura 2.13.

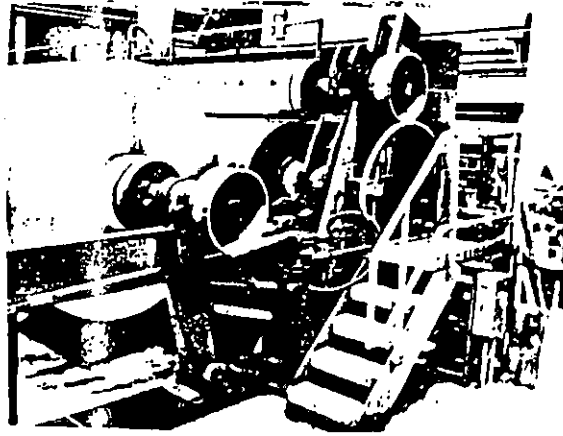


Figura 2.13. Enrollador de papel.

Generalmente se tienen 2 cilindros enrolladores, cuando el rollo tiene el diámetro deseado, se cambia por el otro cilindro para continuar el enrollado.

## 2.2. ELEMENTOS AUXILIARES DE LA MÁQUINA

El equipo que a continuación se describe forma parte de la maquinaria que se describió anteriormente y es opcional a ésta.

Los sistemas de instrumentación se clasifican, en términos generales, en sistemas de medición y sistemas de control. En el primer caso, la magnitud de una variable se mide y el valor se registra o se visualiza en un medio adecuado. Dentro de esta clasificación se encuentran los sistemas analizadores, cuya función es visualizar la naturaleza y proporción de una variable. En los sistemas de control, la magnitud medida se utiliza para controlar la variable de manera que el valor medido se iguale con el valor deseado.

### 2.2.1. Sensores y Transductores

Se denomina sensor a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente, pero de otra forma distinta. Es por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro, que por lo general es eléctrica.

El transductor es el dispositivo que contiene a un sensor y electrónica adicional que ayuda a que la variable eléctrica convertida por el sensor, tenga las características necesarias (nivel de voltaje, corriente, impedancia, etc.) adecuados para ser introducida en otra etapa electrónica sin otro tipo de acondicionamiento.

La variable a medir generalmente es física, tal como temperatura, presión, fuerza, intensidad luminosa, desplazamiento, presión, etc. El medio de detección, como se mencionó es un transductor que convierte dicha variable física en una variable generalmente eléctrica que puede ser más fácilmente manipulada.

Existe una inmensa variedad de transductores y con diversas características para poder seleccionarlos y aplicarlos en el área de instrumentación industrial. Los transductores se pueden clasificar de acuerdo a su principio de operación, aplicación, método de conversión de energía, tipo de señal de entrada o salida, etc.

De acuerdo a su principio de operación eléctrica, a los transductores que producen una señal eléctrica (voltaje o corriente) sin necesidad de excitación eléctrica, se les llaman transductores activos o de autogeneración; y si únicamente generan una señal de salida sólo cuando se utilizan con una fuente de excitación, se les llaman transductores pasivos.

#### a) Características de los transductores

Tanto en el diseño como en la fabricación de un transductor, deben tomarse en cuenta las especificaciones para obtener la mejor capacidad de medición. Dichas especificaciones son las que caracterizan al transductor y permiten definir el tipo y rango de la medición, exactitud, precisión, condiciones ambientales, montaje, etc., para la aplicación específica.

#### b) Características de la magnitud a medir

Corresponden básicamente a los parámetros relacionados con la magnitud a medir sin que se afecte la operación del transductor.

- **Amplitud de medición.** Es la diferencia algebraica entre los dos límites del rango.
- **Rango.** Son los límites superior e inferior de los valores de la magnitud a medir. El rango puede ser unidireccional (0 a 2.5 cm.), bidireccional ( $\pm 45^\circ$ ), asimétrico (-2 a 10 gr) o desplazado con cero suprimido (70 a 120 psig).

- **Sobrerango.** Es el valor máximo de la medida en que se puede aplicar el transductor sin que sobrepase la tolerancia del rango especificada.
- **Tiempo de recuperación.** Después de operar en un sobrerango, es el tiempo que transcurre para que el transductor recupere su operación normal dentro de las tolerancias especificadas.

### c) Características eléctricas

Corresponde a parámetros externos al transductor, considerándolo como una caja negra sin analizar su operación interna y utilizándolo únicamente como un dispositivo que realiza una interfaz eléctrica con otros equipos.

- **Excitación de entrada.** Es un voltaje o corriente externos que requiere el transductor para su correcto funcionamiento, excepto para los transductores activos.
- **Impedancia de salida.** Corresponde a la impedancia presentada en las terminales de salida del transductor.
- **Impedancia de entrada.** Es la impedancia del transductor presentada a la fuente de excitación.
- **Impedancia de carga.** Es la impedancia que ve o debe ver la salida del transductor debida al acondicionador y cables de conexión conectados a él.
- **Salida.** Es la magnitud eléctrica producida por el transductor y es función de la magnitud aplicada de entrada. La salida puede manifestarse como una variación de resistencia, inductancia o capacitancia, para el caso de transductores pasivos; o bien, un voltaje o corriente continuo (salida analógica), o bien digital, en donde las magnitudes se representan en forma discreta, para el caso de los transductores activos.
- **Tierras.** Las líneas de retorno de la excitación y de salida pueden estar con tierras independientes, como en el caso de un puente de galgas extensométricas; o pueden ser comunes, como cuando se utiliza un transductor potenciométrico.
- **Respuesta a la frecuencia.** El transductor debe ser capaz de responder a la velocidad máxima de cambio en el efecto que se esté observando.

#### d) Características mecánicas

Corresponden a las especificaciones del fabricante en relación a las mediciones, montaje, tamaño, localización de conexiones eléctricas e información pertinente que comúnmente vienen en los datos de placa tal como rango, excitación, salida, número de serie, número de componentes y fabricante.

#### e) Características de actuación

Básicamente, se refieren a las características operativas del transductor. Estas se pueden clasificar en cuatro categorías: Características estáticas, dinámicas, del medio ambiente y de confiabilidad.

#### f) Características estáticas

Estas características describen la operación del transductor en condiciones ambientales óptimas, con cambios muy lentos de la magnitud a medir y en ausencia de golpes, vibraciones o aceleraciones (a menos que ésta sea la variable a medir). En estas características se destacan:

- **Exactitud.** Es la relación entre error del transductor y el valor verdadero de la variable medida, expresándose generalmente en  $\pm \%$ . Es la cualidad que caracteriza la capacidad de un instrumento de medida de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida.
- **Linealidad.** Expresa el comportamiento diferencial de la curva de calibración con respecto a una línea recta especificada. Se expresa como  $\pm \%$  del valor a plena escala, determinando la máxima desviación de la variable medida desde cualquier punto de la curva de calibración.
- **Histéresis.** Es la máxima diferencia en la salida que se presenta cuando el valor de la magnitud a medir pasa por cero, ya sea que este valor es alcanzado mediante el aumento y disminución de la magnitud. La histéresis está ocasionada normalmente por una retención magnética en la acción del elemento sensor. Se expresa en  $\%$  del valor a plena escala.
- **Error del transductor.** Es la diferencia algebraica entre el valor indicado o medido y el ideal o teórico.

- **Resolución.** Es una característica del comportamiento del transductor con respuesta en incrementos pequeños. Es la magnitud de los cambios en escalón de la salida cuando la magnitud a medir varía continuamente dentro del rango. Esto se expresa por ejemplo en los transductores potenciométricos con elementos embobinados, como resultado del deslizamiento del contacto de una espira a otra provocando escalones en la magnitud de salida.
- **Sensibilidad.** Es la relación en el cambio a la salida con el cambio en el valor de la magnitud a medir. Establece la pendiente de la curva de calibración.
- **Umbral.** Es el cambio más pequeño en la magnitud a medir para conseguir un cambio medible en la salida. Normalmente se define en términos de la magnitud a medir y puede tener valores diferentes en porciones diferentes del rango.
- **Precisión o repetibilidad.** Es la habilidad de un transductor en reproducir lecturas de salida cuando se aplica el mismo valor de la magnitud de manera consecutiva, bajo las mismas condiciones y en la misma dirección. Es la misma característica que la exactitud, pero cuando las medidas se realizan en un intervalo de tiempo corto.

#### g) Características dinámicas

Se deben establecer estas características cuando se utiliza un transductor en medidas donde la magnitud varía de manera rápida o en donde pueden existir cambios de la misma con entrada escalón. Estas pueden estar definidas y determinadas en términos de la respuesta en frecuencia o tiempos de respuesta o amortiguamiento a la frecuencia natural, dependiendo del tipo de transductor y de la aplicación.

- **Amortiguamiento.** Es la disipación de potencia que junto con la frecuencia natural, determina el límite superior de la respuesta frecuencial, así como la respuesta transitoria de un Transductor.

En respuesta a un escalón de la magnitud a medir, un sistema subamortiguado oscila alrededor del valor permanente final antes de permanecer en este valor.

El sistema sobreamortiguado alcanza el valor permanente final sin superarlo.

Un sistema críticamente amortiguado se encuentra en el punto de cambio entre las condiciones de sub y sobreamortiguamiento.

- **Frecuencia natural.** Se obtiene cuando un elemento sensor de un transductor se coloca en oscilación libre. La frecuencia de esta oscilación es la frecuencia natural.



- **Relación de amortiguamiento ( $\xi$ ).** Es el parámetro que determina el grado de amortiguamiento de la señal de salida de un sistema de segundo orden con excitación de escalón.

Si  $\xi = 1$  se tiene amortiguamiento crítico.

Si  $\xi > 1$  se tiene sobreamortiguamiento.

Si  $\xi < 1$  se tiene subamortiguamiento.

- **Respuesta en frecuencia.** Es el cambio observado en la frecuencia de la relación de la magnitud de salida y la magnitud aplicada al transductor dentro de un rango definido de frecuencias y variaciones senoidales. También se puede definir como el cambio con la frecuencia de la diferencia de fase entre la magnitud de entrada y salida.
- **Respuesta transitoria.** Es el término general para la respuesta de un transductor a un cambio en escalón de la magnitud.
- **Tiempo de Respuesta, Tiempo de Subida y Constante de Tiempo.** Son parámetros que caracterizan la respuesta de un transductor (no subamortiguada) a un cambio en escalón de la magnitud a medir.

El tiempo de respuesta es el tiempo requerido para que la salida alcance un porcentaje especificado de su valor final a entrada escalón.

El tiempo de subida corresponde al lapso requerido por la salida para ascender desde el 10 al 90% de su valor final.

Para la constante de tiempo ( $\tau$ ), en la respuesta a escalón de un sistema de primer orden, este es el tiempo en que alcanza el 63.2% de su valor final.

## h) Características del medio ambiente

Las características de la actuación estática y dinámica se especifican y verifican cuando el transductor opera en condiciones ambientales adecuadas y en ausencia de condiciones externas que puedan afectar su operación, es decir, el transductor debe calibrarse bajo condiciones de operación en el medio ambiente adecuado, y si está fuera de las condiciones, es necesario conocer los efectos ambientales; y las derivaciones resultantes de las actuaciones estáticas (errores ambientales), deben

estar limitadas por tolerancias determinadas mediante pruebas, por ejemplo de temperatura, presión, etc.

- **Efectos térmicos.** Corresponden a cualquier tipo de alteración que afecte la operación del transductor en relación con la temperatura de operación.
- **Error de temperatura.** Es el cambio máximo en la salida cuando la temperatura (dentro del rango de operación del transistor) cambia de la temperatura ambiental a una temperatura extrema especificada.
- **Error de vibración.** Es el máximo cambio en la salida, dentro del rango del transductor, ocasionado por determinados niveles de vibración tanto de amplitud como de frecuencia. Estos se presentan particularmente cuando el transductor incluye sensores mecánicos.
- **Rango de temperatura operativo.** Es el rango de temperaturas ambientales, máximo y mínimo, dentro del cual el transductor opera en estado normal o especificado.

#### i) Características de confiabilidad

Son las correspondientes a la esperanza de vida útil del transductor, así como los sucesos que pueden presentarse por su utilización inadecuada en un sistema en el que operan conjuntamente.

- **Vida operativa o de ciclo.** Es el tiempo mínimo especificado en el que el transductor operará, ya sea continuamente o sobre un número de ciclos de funcionamiento, en el rango completo, sin que cambien las características de funcionamiento dentro de las tolerancias especificadas.
- **Efectos adversos.** Estos se contemplan cuando ya se ha instalado el transductor, y pueden presentarse en fallas como corto circuitos, presiones en el encapsulado del sensor, etc.

### 2.2.2. Medidores de Flujo

Los sistemas de medición de flujo están compuestos por un dispositivo primario y un secundario. El dispositivo primario, el elemento sensor, está en contacto con el flujo el cual, interactuando con éste, proporciona la medición. El dispositivo secundario es el

que traduce la interacción del dispositivo primario con el flujo en términos de volumen, masa, u otras relaciones de flujo de tal forma que puedan ser usadas para propósitos de registro, control u otros.

Por la forma que utilizan para medir, se pueden clasificar en indirectos, por área, por fuerza, por velocidad y por cantidad, en los que destacan los dos primeros por su mayor utilización y se detallan a continuación.

- **Medidores de flujo indirectos.** Los medidores de flujo indirectos son los más comunes entre todos los tipos; estos no miden el flujo directamente, pero relacionan a éste con la presión diferencial que es inducida a través de una conveniente restricción del flujo en una tubería. El dispositivo primario que forma parte de esta restricción induce la presión diferencial. Entre los dispositivos primarios destacan el tubo Venturi, las placas de orificio y los tubos de Pitot. El dispositivo secundario es conectado a la presión diferencial y la mide para determinar la relación de flujo. Estos pueden ser de tipo seco, como el de balanceo de fuerzas; y de tipo líquido, como el manómetro líquido y de sello líquido, que llevan un fluido como el mercurio en contacto con el del flujo. A menudo el dispositivo secundario consiste de dos elementos: el transmisor de presión diferencial y un instrumento de recepción remota.
- **Medidores de flujo por área.** En este tipo de medidores, una variación de área es provocada por la subida y caída de un elemento flotante que se mueve verticalmente dentro de un tubo en la misma posición. La ventaja de estos es que proporcionan una medición directa del flujo, ya que la posición del elemento flotante puede verse fácilmente. Estos medidores de flujo son usados en líquidos corrosivos y viscosos. Existen dos tipos principales de medidores de flujo por área: el de cilindro y pistón y el rotámetro. Este último es de los más usados en los medidores de flujo. Consisten básicamente de una pluma sumergible o rotor. El flujo a medir pasa a través de un tubo calibrado que hace que el rotor se mueva de acuerdo a la cantidad de flujo.

### 2.2.3. Medidores de Nivel

Los medidores de nivel son necesarios tanto para tanques abiertos que están expuestos a la atmósfera como para tanques cerrados, y se pueden encontrar en varios lugares a través del proceso de fabricación de papel.

En la medición de niveles en tanques abiertos destacan los hidrostáticos y los sistemas de diafragma.

Los medidores hidrostáticos son elementos en el que una columna de líquido crea una presión hidrostática directamente proporcional a la altura del líquido bajo un punto de referencia.

Los medidores de diafragma consisten en una caja hecha de dos secciones, con un diafragma insertado entre éstas. Un tubo capilar entra desde la sección de arriba de la caja, la cual se coloca en algún nivel de referencia dentro del tanque. La presión causada por la columna de líquido bajo el nivel de referencia, actúa sobre el diafragma, comprimiendo el aire de las secciones en una cantidad equivalente a la presión del líquido. Los cambios de presión mueven a un resorte en el instrumento, el cual está conectado a un sistema de registro o un indicador.

Dentro de los medidores de diafragma se encuentran los transmisores de presión diferencial, que funcionan bajo el mismo principio ya mencionado.

Para la medición de niveles en tanques cerrados, como la caja principal de la máquina para fabricar papel, se tienen como los más comunes el de presión diferencial, de flotador, de dispositivos radiactivos, de dispositivos ultrasónicos, de capacitancia y de otros dispositivos eléctricos. Entre estos mencionados destacan los ultrasónicos.

Los medidores de nivel ultrasónicos están basados en la emisión de una onda de sonido desde una fuente. Una porción de la onda es absorbida por el líquido en el que se desea medir el nivel y otra es reflejada y retorna al receptor. El tiempo entre la emisión y recepción de la onda es usada como una medición del nivel del líquido.

#### **2.2.4. Transformador Diferencial Variable Lineal**

Otro transductor de propósito general es el LVDT (Linear Variable Differential Transformer), que produce una señal eléctrica que es linealmente proporcional a desplazamientos mecánicos. Para medir desplazamientos angulares se cuenta con un dispositivo semejante, que se llama transformador diferencial variable rotatorio ó RVDT (Rotative Variable Differential transformer). Este tipo de transductor es adecuado en aplicaciones donde los desplazamientos son demasiado grandes para ser tratados con galgas extensométricas. El rango de medición de este transductor va desde micropulgadas hasta pulgadas.

El LVDT está constituido por un núcleo de ferrita que se mueve dentro de un transformador especial que tiene un embobinado primario y dos secundarios, y los tres embobinados están devanados sobre un mismo tubo aislante (plástico o cerámica). El bobinado primario se devana en el centro del tubo y los dos secundarios que cuentan con el mismo número de vueltas se conectan en serie y en oposición. Esto quiere decir que el acoplamiento mutuo entre cada devanado secundario y el primario es igual. El voltaje  $V_0$  entre los conductores del devanado secundario será cero, aun cuando el primario esté excitado por una señal de AC. En la figura 2.14 se representa la constitución física de un LVDT.

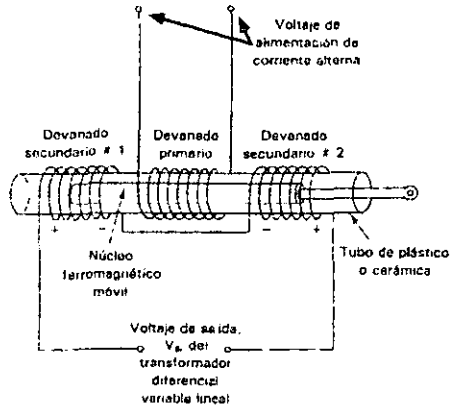


Figura 2.14. Constitución física de un LVDT.

Cuando el núcleo se mueve respecto a su posición central dentro del tubo, el acoplamiento mutuo entre cada devanado secundario y el primario ya no será igual, y el voltaje de salida para desplazamientos pequeños será linealmente proporcional a la magnitud del desplazamiento.

La sensibilidad de un LVDT se expresa en  $mV/V/0.001$  pulgadas. Como la salida es directamente proporcional al voltaje primario aplicado, cualquier variación en la frecuencia o en el voltaje se verá reflejado en la señal de salida. La señal típica de entrada está en el rango de 1 a 10 V de corriente alterna y de 1 a 100 kHz. En la figura 2.15 se tiene el voltaje de salida del LVDT en función del desplazamiento del núcleo.

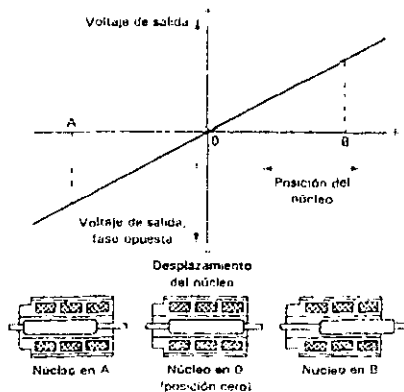


Figura 2.15. Voltaje de salida del LVDT en función del desplazamiento del núcleo.

La linealidad del LVDT se define como la desviación máxima de la curva de salida de la línea recta de mejor ajuste que pasa por el origen, expresada como un porcentaje de la salida nominal:

$$L = 100 \frac{D}{V_0} \quad (2.1)$$

Donde:

- L es la linealidad del LVDT (%).
- D es la desviación máxima de la curva de salida (Volts).
- $V_0$  es el voltaje de salida del LVDT (Volts).

Además de la galga extensométrica y el LVDT, otros dispositivos de medición son el potenciómetro de movimiento lineal y el inductor variable de movimiento lineal, que son más baratos y fáciles de usar pero su exactitud y sensibilidad no son tan altas.

### 2.2.5. Medidores de Presión

La presión es la acción de una fuerza en contra de otra, y es usada para referirse a la distribución de ésta sobre una superficie o a la acción en contra de una superficie dada dentro de un contenedor cerrado, y usualmente es medida como la fuerza por unidad de área.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

- P Es la presión ejercida sobre una superficie en  $\text{kg/m}^2$  o Pa ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ )
- F es la fuerza en kg o Newtons ( $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ )
- A es el área donde se ejerce la presión en  $\text{m}^2$ .

Todos los sistemas de medición de la presión consisten de dos partes básicas: un dispositivo primario, que está en contacto directo o indirecto con el elemento a medir; y un dispositivo secundario, que traduce la medición del elemento primario a valores apropiados de presión para su uso en indicadores, transmisores o controladores.

Los instrumentos de medición de presión se pueden dividir en dos grandes categorías: mecánicos y eléctricos.

Los medidores de presión mecánicos determinan la presión balanceando una fuerza u otra presión contra la presión desconocida. Entre los medidores mecánicos más usados se encuentran los manómetros, los de columna de líquido, los de diafragma y los de resorte, siendo los primeros los más usados con una gran variedad de tipos y para diferentes usos.

La presión se puede medir eléctricamente si se modifica en forma directa algún parámetro eléctrico (como la capacitancia), o si se produce un desplazamiento mecánico que active un transductor de desplazamiento lineal, originando una señal eléctrica.

*El transductor de capacitor variable* es uno de los más exactos para medir los cambios de presión, donde la referencia puede ser la presión atmosférica, el vacío o una segunda presión de interés. Este transductor tiene un diafragma metálico que se mueve dentro del transductor de capacitor aproximándose o alejándose de una placa rígida provocando un cambio en la capacitancia de la estructura. Si el valor de esta capacitancia es parte de un circuito oscilador, se pueden monitorear los cambios de frecuencia para indicar los cambios de presión.

Los dispositivos empleados para convertir la presión en desplazamiento mecánico están constituidos por un fuelle flexible donde se inyecta la presión que se va a medir, ocasionando una elasticidad en el fuelle. Para presiones altas se emplea un resorte para sumar la fuerza de restricción a la fuerza contra la presión. La extensión del fuelle mueve una varilla que se conecta a un transductor de posición, que convierte el desplazamiento en una señal eléctrica.

Otro transductor muy común de presión a desplazamiento es el tubo de Bourdon, figura 2.16, que es un tubo plano y hueco que está curvado en forma de espiral o helicoidal. Cuando se introduce en el un fluido a presión trata de enderezarse. La cantidad de enderezamiento es proporcional a la presión aplicada. Para bajas presiones el tubo se enrolla en forma helicoidal. La salida del tubo es mecánica, por lo que éste debe conectarse a un transductor eléctrico adicional que convierta el desplazamiento en una señal eléctrica.

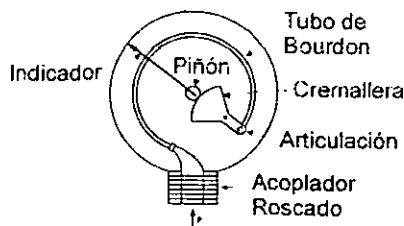


Figura 2.16. Manómetro de Bourdon.

Los elementos eléctricos más usados para medir presión en la industria del papel, son las galgas extensométricas, usado en equipos como la calandra y las prensas.

### 2.2.6. Galgas Extensométricas

La galga extensométrica es uno de los transductores eléctricos que se emplean con mayor frecuencia. Su popularidad se basa en el hecho de que puede detectar y convertir fuerza o desplazamientos mecánicos en señales eléctricas. Se basan en la variación de la resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a una deformación longitudinal. La deformación se define como un cambio en la longitud de un material debido a una fuerza o esfuerzo  $\varepsilon$  aplicado externamente.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.3)$$

Donde:

$\Delta L$  es el cambio en la longitud debido a la fuerza aplicada (mm).  
 $L$  es la longitud original (mm).

Para mantener el funcionamiento lineal de estos transductores, la fuerza aplicada no debe deformar el material del transductor más allá del 50% de su límite elástico, que es la máxima deformación longitudinal que puede soportar un material y retornar a su longitud original. Cuando se estira una galga extensométrica, su resistencia cambiará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\Delta R = \rho \frac{\Delta L}{A} \quad (2.4)$$

Donde:

$\Delta R$  Es la variación del valor de la resistencia en el material ( $\Omega$ ).  
 $\rho$  es la resistividad del material ( $\Omega\cdot m$ ).  
 $\Delta L$  es el cambio en la longitud efectiva del conductor (m).  
 $A$  es el área transversal del conductor ( $m^2$ ).

La mayoría de las galgas extensométricas se fabrican de tal modo que la resistencia varíe linealmente con los cambios en la longitud, resistividad y área; pero como los cambios tanto en la resistividad como en el área son mínimos, estos son despreciables. Los pequeños cambios que experimenta la resistividad como resultado del esfuerzo mecánico es lo que se conoce como efecto piezorresistivo.



Los valores de resistencia de las galgas oscilan entre 250 y 350Ω en el caso de que ésta requiera medirse. Esto se puede lograr con un galvanómetro dentro de una conexión con un puente de Wheatstone. Para acondicionar la señal de salida de las galgas se utilizan amplificadores de circuito integrado, por lo que se requieren valores mayores de resistencia de éstas, para reducir los requerimientos de potencia y para aumentar la relación de señal a ruido. Estos valores son de aproximadamente 1kΩ en las galgas extensométricas de platino (92%) y tungsteno (8%), y teniendo un factor de sensibilidad de la galga K, que se define como lo indica la ecuación 2.3.

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R_g}}{\Delta L} \quad (2.5)$$

Donde:

- K es el factor de sensibilidad de la galga usualmente  $\approx 2$ , pero puede ser de varios cientos (adimensional).
- $\Delta R$  es el cambio en la resistencia de la galga ( $\Omega$ ).
- $R_g$  es la resistencia de la galga ( $\Omega$ ).
- $\Delta L$  es el cambio en la longitud de la galga (mm).
- L es la longitud de la galga (mm).

La configuración básica de una galga, como la mostrada en la figura 2.17, consiste en lo siguiente: las zonas grandes en el extremo (baja resistencia) reducen los efectos de la deformación transversal o perpendicular a la longitud de la galga. La longitud de la galga puede variar desde algunos milímetros hasta varias pulgadas, dependiendo de la longitud del área sobre la que se vaya a medir la deformación.

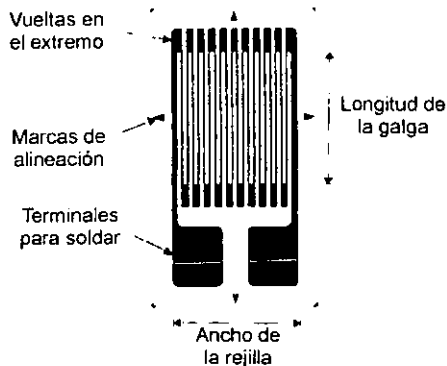


Figura 2.17. Configuración típica de una galga extensométrica.

La temperatura es una fuente de interferencias por varias razones: afecta a la resistividad del material, a sus dimensiones y a las dimensiones del soporte de la galga. Como resultado de todo ello, si hay un cambio de temperatura antes de aplicar un esfuerzo a la galga, se tendrá ya un cambio en la resistencia.

Esta interferencia se compensa con el método de la entrada "opuesta", que consiste en el empleo de las galgas "pasivas", que son galgas iguales a la de medida dispuestas junto a ésta, de forma que experimentan el mismo cambio de temperatura, pero que no están sometidas a esfuerzos mecánicos. En cualquier caso, para evitar dilataciones diferenciales excesivas, en cada material a ensayar hay que emplear galgas previstas para él, es decir, que tengan un coeficiente de dilatación similar.

Las galgas extensométricas semiconductoras son bastante más sensibles que las de película metálica, y sus factores de sensibilidad de galga son mayores que 200 en general. Debido a su mayor sensibilidad, pueden medir deformaciones mucho menores, y las deformaciones térmicas debido a la temperatura son muy pequeñas.

Los materiales empleados en la fabricación de galgas extensométricas son diversos conductores metálicos, como las aleaciones constantan, advance, karma, y también semiconductores como el silicio y el germanio. Sus usos son diversos, como en sistemas transmisores de presión o de fuerza, o para sensores táctiles de robots, para medir esfuerzos en estructuras, elementos mecánicos como engranes, etc.

### 2.2.7. Medidores de Consistencia

La medición de la consistencia de la pasta o pulpa en la industria del papel es considerada entre las más importantes y la más difícil de obtener, esto es debido a que el término consistencia de la pasta no se usa en el mismo sentido que en los fluidos comunes. Si bien, la consistencia se expresa como el peso total por unidades de volumen, y en la industria del papel se define como porcentaje por peso de material fibroso en alguna combinación de pulpa y agua (o pulpa, aditivos y agua) y se calcula con la siguiente expresión.

$$C = 100 \cdot \frac{F}{W} \quad (2.6)$$

Donde:

- C La consistencia de la pasta en porcentaje (%).
- W El peso total de la cantidad de pasta (kg).
- F El peso del material fibroso que contiene la pasta (kg).

La determinación básica de la consistencia es un proceso laborioso, se hace obteniendo y pesando una muestra representativa de pasta, remover el agua secándola y pesando nuevamente se determina la cantidad de material fibroso.

La consistencia de menos del 1% de agua es considerada como baja y un 6% como alta, los medidores de consistencia operan entre este rango de medición en la industria del papel.

#### **a) Métodos de medición de consistencia**

Los métodos para medir la consistencia se clasifican en tres grupos. Los primeros son *dispositivos de muestreo ya sea de caja abierta o atmosférica o de caja cerrada o presurizada*. Este tipo de medidores funciona tomando una muestra de flujo, del flujo de pasta mayor. En el segundo grupo, los medidores son de corriente constante, donde el sensor se encuentra sobre el flujo principal de pasta. En el último grupo se tiene los sensores ópticos, ultrasónicos, de vibración, de resonancia eléctrica o microondas.

Uno de los medidores de consistencia más usados es un dispositivo de muestra de caja abierta o atmosférica, donde el sensor es una veleta colocada sobre el flujo y conectada a un motor con velocidad constante, donde un cambio en la consistencia se traduce en un cambio en el par del motor, el cual es convertido en una señal eléctrica.

El método ultrasónico consiste de generar pulsos ultrasónicos entre la corriente de fibra y se mide la intensidad de pulso a cierta distancia. Este método registra mediciones entre 0.1 y 1.5%.

La carga generada sobre un motor eléctrico conectado a un agitador entre la pasta es otro de los métodos usados, dentro del grupo de los de flujo constante.

#### **2.2.8. Sensor de Peso Base**

El sensor de Peso Base consiste de dos cabezas, una llamada fuente y la otra detectora, separadas entre sí para permitir el paso del papel entre ellas. En la figura 2.18 se tiene la representación esquemática del sensor de peso base.

La fuente emite partículas de radiación beta en pequeña magnitud, las que son colimadas o enfocadas por un componente geométrico en la cabeza inferior. La radiación pasa a través de la hoja para llegar al componente geométrico de la cabeza superior y alcanzar al detector.

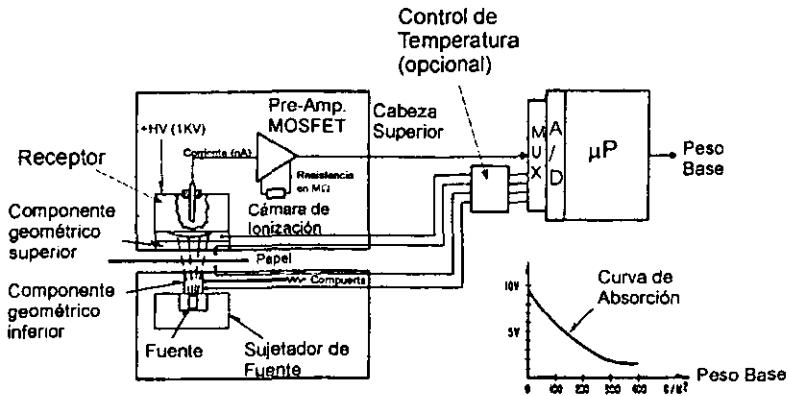


Figura 2.18. Principio de medición del sensor de peso base.

El detector convierte la radiación recibida en una señal eléctrica que es proporcional al peso base del proceso. Esta señal eléctrica es amplificada, acondicionada y entregada de manera digital para ser procesada por una computadora.

La cabeza fuente consiste de una fuente radioactiva en un contenedor sellado, un mecanismo de compuerta y un componente geométrico, que provoca que el rayo se disperse uniformemente. La fuente radioactiva típicamente por sus características es de Kriptón 85.

El propósito de mantener la fuente en un contenedor sellado es de seguridad personal. El mecanismo de compuerta permite la emisión del rayo únicamente cuando el sensor se encuentra en uso, en otra instancia permanece cerrado. Los componentes geométricos de la cabeza inferior y superior se encargan de una distribución uniforme (enfoque) de la radiación empleada en la medición del papel.

Para ayudar a mantener una mayor sensibilidad en la medición, se puede controlar la temperatura existente en la columna de aire que se encuentra entre la cabeza fuente y la detectora. Generalmente este control de temperatura se implementa con un módulo opcional a base de termistores.

La cabeza detectora consiste de una cámara de ionización cargada con un gas, contando con un sistema interno de electrodos. Un voltaje considerable es aplicado a la cámara de ionización. Esto produce que los iones viajen entre los electrodos causando el flujo de una pequeña corriente a través del gas. El valor de esta corriente es proporcional a la cantidad de radiación que llega al detector.

Esta pequeña corriente eléctrica (normalmente del orden de los nA), es convertida en voltaje a través del uso de una resistencia del orden de los giga ohms, para llegar a un pre-amplificador MOSFET, que regularmente es llamado 'electrómetro'. La salida del electrómetro es aproximada a una función logarítmicamente inversa al peso base. Es decir, cuando no se coloca una hoja de papel en el proceso, el voltaje que genera un electrómetro es aproximadamente de 6 a 9 volts; y cuando este existe, el voltaje se decrementa en forma logarítmica, representando esta relación mediante la siguiente expresión:

$$I \approx I_0 e^{-\mu Wb} \quad (2.7)$$

Donde:

- I* Señal de salida de corriente del electrómetro en proceso [mA].
- I*<sub>0</sub> Señal de salida de corriente del electrómetro fuera de proceso [mA].
- $\mu$  Coeficiente de absorción del material.
- e* Número exponencial base  $\approx 2.718$ .
- Wb* Peso base del proceso [gr / m<sup>2</sup>].

La relación entre el peso base y la señal del electrómetro puede ser descrita por la curva de absorción. Una lectura completa corresponde a una señal sin nada en el espacio entre la cabeza emisora y detectora (*I*<sub>0</sub>); y un valor de cero indica una absorción total. La caída de la curva de absorción será siempre asociada con el tipo de papel a ser medido.

### 2.2.9. Sensor de Humedad

El sensor de humedad consiste de dos cabezas, una fuente y una detectora separadas entre sí para permitir el paso del material, figura 2.19.

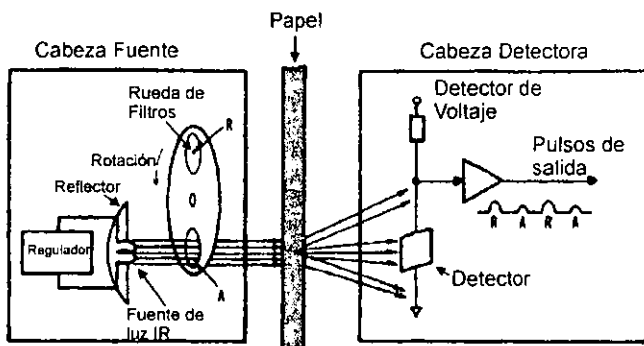


Figura 2.19. Diagrama del principio de medición de un sensor de humedad.

El sensor de humedad funciona bajo el siguiente principio: un material es capaz de reflejar o absorber energía luminosa, en función de las características del propio material y de la longitud de onda emitida. Para ello son usados dos pulsos de luz, con diferente longitud de onda, el primer pulso de luz es absorbido por el agua y el material, el segundo pulso es absorbido solamente por el material. La diferencia entre la absorción de las dos ondas resulta ser la cantidad de agua.

Esto se logra mediante un disco giratorio que contiene dos filtros. El primero permite una longitud de onda de 1.8 microns como señal de referencia y el segundo de 2 microns, por donde pasa el rayo de luz proveniente de una lámpara de halógeno, generando dos tipos de longitudes de onda, cuya representación está definida por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{I_r}{I_a} \times 100 \quad (2.8)$$

Donde:

- $R$  Relación de cantidad de agua en el papel [%].  
 $I_a$  Intensidad de banda de absorción [cd].  
 $I_r$  Intensidad de banda de reflexión (o de referencia) [cd].

### 2.2.10. Medidores de Velocidad

La función del tacómetro es medir la velocidad angular de algún elemento rotacional, como por ejemplo la flecha de un motor. Existe una diversidad de tacómetros y técnicas que se utilizan para la medición de velocidad. En este trabajo se destacarán los tacómetros digitales, como los preferidos para medir la velocidad.

Un tacómetro electrónico se compone básicamente de un contador y de un elemento para convertir la velocidad angular a pulsos que pueda interpretar el contador. A estos elementos se les llama codificadores.

Los Codificadores (*encoders*) son dispositivos ópticos que convierten una posición mecánica en una señal eléctrica por medio de un disco ranurado, una fuente de luz infrarroja y elementos foto sensitivos. Con la interfaz electrónica adecuada se puede obtener información de velocidad y posición. Estos se pueden clasificar como rotativos o lineales, para mediciones rotacionales o lineales respectivamente; en incrementales y absolutos para realizar mediciones relativas o absolutas, respectivamente.

Los Codificadores rotacionales están disponibles como unidades caseras, o como unidades modulares que se colocan sobre la flecha de un motor.

### 2.2.11. Actuadores

El control de las válvulas se puede definir como un sistema que permita la variación del paso de un fluido a través de éstas, que puede ser manualmente por medio de una manivela o llave o a través de un sistema automático de control por medio de una señal de salida.

Dependiendo de la señal de entrada los tipos de actuadores se clasifican en actuadores de tipo neumático, eléctrico, hidráulico, mecánico o de operación manual. Los actuadores de tipo neumático son los que con mayor frecuencia se utilizan para controlar el flujo de pasta en la industria del papel. Los tipos de actuadores hidráulicos, electrohidráulicos y mecánicos, son usados en circunstancias donde el manejo de los actuadores neumáticos, debido a la temperatura baja del ambiente, crea problemas en el manejo de las fuentes de aire para los sistemas neumáticos. Los tipos de actuadores más usados son:

#### a) Actuadores de Tipo Membrana

Este tipo de actuadores consiste de dos partes principales: el yugo o estructura y la membrana. El yugo está construido de acero, hierro o algún otro metal adecuado de alta resistencia, y la membrana se fabrica del mismo material o inclusive de aluminio. Normalmente estos actuadores se emplean en el manejo de fluidos de baja presión.

#### b) Actuadores de Pistón

Los actuadores de pistón pueden ser de operación neumática o hidráulicos, pero los más comunes son los actuadores de operación neumática, donde un pistón de acero, hierro o aluminio es accionado por la presión de un fluido (aire en neumáticos y aceite en hidráulicos), y la variación de flujo se controla por medio de una válvula. Estos transforman la energía de presión del fluido en un movimiento rectilíneo y se emplean para levantar, sujetar, introducir, expulsar, etc., y en general, cuando se requiere realizar un trabajo de compresión.

Los actuadores de pistón tienen como característica un mínimo de fricción en el pistón, lo que influye en un alto grado de precisión. Los pistones pueden ser de simple y doble efecto. El de mayor uso es este último.

- **Pistones de doble efecto.** Cuando el fluido penetra en la cámara posterior, mientras el contenido en la cámara del vástago o anterior se evacúa, el émbolo sale

y efectúa su carrera positiva. Al invertir la entrada de aceite a presión el émbolo retrocede. Este tipo de pistón se muestra en la figura 2.20.

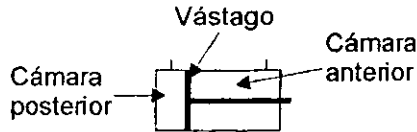


Figura 2.20. Pistón de doble efecto.

### c) Actuadores Eléctricos

Estos son accionados por medio de un solenoide o a través de un motor. Los actuadores de solenoide consisten esencialmente de un electroimán y una armadura móvil. Este tipo de actuadores son generalmente usados para proporcionar dos posiciones (on-off), y no permiten una posición proporcional. Se emplean en aplicaciones de presión alta de fluidos. Los actuadores que son accionados por medio de un motor, permiten el control de posición proporcional, sin embargo, estos no son muy usados debido a su costo elevado y la dificultad para adaptarlos a un control automático.

#### 2.2.12. Válvulas

Existe una gran variedad de válvulas empleadas en la industria del papel, y entre éstas las más comunes se encuentran las siguientes:

- a. Tipo globo
- b. Tipo jaula
- c. Tipo Saunders
- d. Tipo Mariposa
- e. Tipo rotación de conector
- f. Tipo de tres caminos

Los conectores de válvulas normalmente están diseñados para dos posiciones (*on-off*). Con el tipo *on-off* usado para la industria del papel, la compuerta de la válvula es posicionada por el actuador solamente como abierto o como cerrado. La compuerta de la válvula puede ser de tipo bajando y cerrando o bajando y abriendo, esta característica depende entre otras cosas del tipo de actuador usado.

- **Válvula tipo Globo.** Son el tipo más popular y se encuentran en dos estilos generales: las de estilo convencional de válvula de globo, empleadas en la industria del papel, que pueden ser de un conducto o doble conducto, y el estilo de jaula. Las



de estilo convencional de doble conducto, tienen la característica de una acción más balanceada, sin embargo, no deben ser utilizadas en conductos muy estrechos porque la variación de temperatura ocasiona que la apertura y cierre entre las compuerta superior e inferior no se lleve a cabo al mismo tiempo. En este caso es preferible usar una válvula convencional de un conducto o una estilo jaula. En la figura 2.21, se ilustra el tipo más común de válvula tipo globo.



Figura 2.21. Válvula tipo globo.

- **Válvula Tipo Jaula.** Este tipo de válvulas ha sido diseñada para remplazar al válvula convencional de tipo globo, y las hay de tipo jaula desbalanceada y balanceada. La válvula de tipo jaula desbalanceada remplaza a la tipo globo de un solo conducto y la de tipo jaula balanceada remplaza a la de doble conducto.
- **Válvula Tipo Saunders.** Esta válvula fue originalmente diseñada para una operación de tipo manual y más tarde fue adaptada para poder emplearse en el control automático. En la operación de esta válvula, un actuador levanta o baja una membrana que controla el flujo que pasa a través de la válvula.
- **Válvula Tipo Mariposa.** Este tipo de válvula se usa para aplicaciones de baja presión de fluidos semisólidos, agua y gases. Es una válvula de bajo costo y generalmente se aplica para la conducción de flujo en grandes dimensiones, cuando se trata de agua o líquidos en general, normalmente es usado para una consistencia no mayor al 2%.
- **Válvula con Compuerta de Rotación.** La válvula de compuerta de rotación ha incrementado su aceptación en aplicaciones de control para flujo de pasta y otro tipo de fluidos difíciles de manejar en la industria del papel. Como su nombre indica, su compuerta es de tipo rotativo, el encapsulado de la válvula tiene la forma de la compuerta que puede ser cilíndrica o esférica.

- **Válvula de Tipo Tres Caminos.** Los tipos de válvulas mencionados anteriormente se usan en la regulación de un fluido donde se tiene una entrada de fluido y una salida (dos caminos). En este tipo de válvulas se tiene la característica de contar con tres caminos, donde el flujo entra por un extremo y se divide hacia dos caminos o viceversa, donde dos flujos llegan por conductos diferentes y se combinan en una misma salida.

### 2.2.13. Motores

La máquina para fabricar papel requiere de equipo eléctrico diverso entre los cuales destacan por su grado de importancia los motores que proporcionan el movimiento de la máquina en general. El tipo de motor que se aplica en este proceso, de acuerdo a sus características particulares, es el motor de inducción, que se describe en detalle a continuación.

#### a) Tipos de Motores

Los motores por su fuente de excitación se pueden dividir en motores de corriente directa y motores de corriente alterna.

Los motores de corriente directa, en base al tipo de excitación usada se divide en tres: motor en derivación o shunt, motor en serie y motor compuesto. En base a la misma potencia y velocidad de cada una de las conexiones de los motores, el motor serie desarrolla el máximo par de arranque, el tipo shunt el mínimo y el compuesto cae en un lugar entre estos dos.

Los motores de corriente alterna tienen un mayor número de construcciones diferentes disponibles, en comparación con los motores de corriente directa. Cada tipo de motor de corriente alterna es confinado a trabajar bajo condiciones muy particulares de operación en base al par, capacidad de sobrecarga, variación de velocidad y métodos de arranque. Estos son construidos para operación monofásica o polifásica.

Los motores monofásicos generalmente desarrollan muy baja potencia y son usados para mecanismos que no requieran de un gran par. Entre otros se encuentran los motores de reluctancia, de arranque por capacitor y síncronos.

Los motores polifásicos son máquinas que operan con dos o tres fases de energía excitatriz y se pueden clasificar en motores de inducción (de jaula de ardilla o rotor devanado) y de conmutador o síncronos. Por su grado de importancia, destacan los motores de inducción.

## b) Motores de Inducción

El motor de inducción toma su nombre del hecho de que las corrientes que fluyen en el secundario designado como motor, se inducen por las corrientes que fluyen en el primario, llamado estator. En forma más clara, las corrientes del secundario se inducen por la acción de los campos magnéticos generados en el motor por el devanado del estator. No existe conexión eléctrica entre el circuito primario y el secundario.

Las ideas fundamentales detrás de los motores de inducción se desarrollaron a fines de la década de los años ochenta en el siglo XIX por Nicola Tesla, a quien se le otorgó la patente por sus ideas en 1888. Tesla describió los principios básicos de los motores de inducción de rotor devanado, junto con las ideas para otros dos importantes motores de CA: el motor síncrono y el motor de reluctancia. En la figura 2.22 se ilustra la sección de un motor de inducción con jaula de ardilla donde pueden apreciarse las partes más básicas que son el estator, el rotor y el devanado del estator.

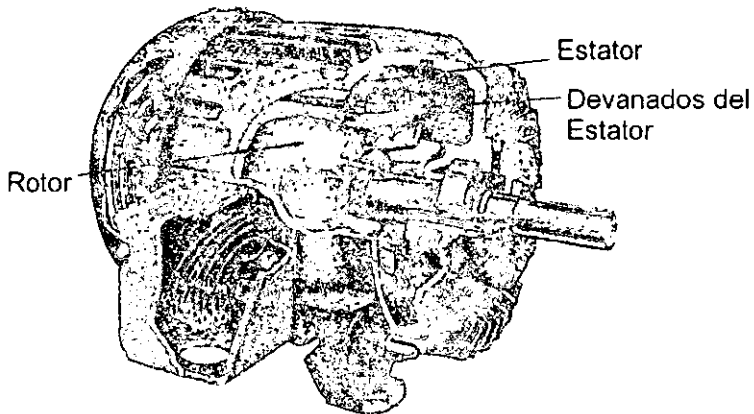


Figura 2.22. Sección de un motor de inducción con rotor jaula de ardilla.

Desde entonces, hasta los comienzos del año 1970, continuó la mejora de la calidad del acero, las técnicas de fundición, los aislamientos y las características de construcción de los motores de inducción. Estas tendencias dieron como resultados motores más pequeños para una determinada potencia de salida.

Sin embargo, estos adelantos en el diseño de los motores de inducción no llevaron necesariamente a mejoras en la eficiencia de su funcionamiento. El principal esfuerzo de diseño se dirigió hacia la reducción de los costos iniciales de los materiales de las máquinas y no hacia el aumento de la eficiencia (esto debido al bajo costo de la

electricidad). Desde que el precio del petróleo comenzó a subir de forma espectacular en 1973, trajo como resultado un nuevo énfasis en mejorar la eficiencia de los motores.

Una de las principales características de los motores de inducción es que no necesitan de corriente de campo de CC para poner a funcionar la máquina (como es el caso de los motores síncronos).

Aunque es posible usar una máquina de inducción como motor o como generador, dadas las desventajas que presenta como generador y que en muy rara ocasión se usa como tal, generalmente se hace referencia a las máquinas de inducción como motores de inducción.

Un motor de inducción está formado básicamente de una carcasa, un estator y un rotor, existen dos tipos diferentes de rotor de motor de inducción, el primero es conocido como rotor jaula de ardilla y el segundo rotor devanado.

El rotor tipo jaula de ardilla consiste en una serie de barras conductoras, colocadas en las ranuras existentes en la cara del rotor y con sus extremos puestos en corto, por medio de anillos de cortocircuito. En la figura 2.23 se tiene un rotor tipo jaula de ardilla.

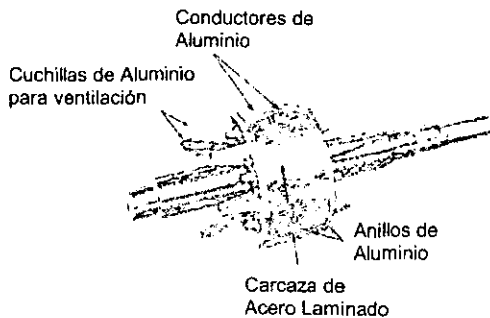


Figura 2.23. Rotor tipo jaula de ardilla.

El tipo rotor devanado, tiene un juego completo de embobinados trifásicos que son la imagen reflejada de los embobinados del estator. Las tres fases de los embobinados del rotor están conectadas generalmente en estrella y los extremos de los tres conductores del rotor están conectados a los anillos de deslizamiento sobre el eje del rotor. Los embobinados del rotor están colocados en cortocircuito por medio de escobillas montadas sobre los anillos de deslizamiento. En los rotores devanados de los motores de inducción tienen sus corrientes del rotor con acceso por las escobillas del

estator, donde se puede insertar una resistencia extra en el circuito del rotor. Es posible aprovechar estos rasgos especiales, para modificar la característica de momento de torsión y velocidad del motor. En la figura 2.24 se tiene un rotor devanado y el esquema de conexión del reóstato en los anillos.

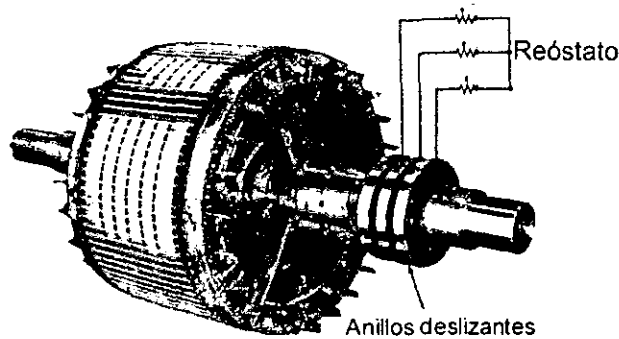


Figura 2.24. Rotor devanado.

La velocidad del motor tiene un límite superior finito. El motor de inducción puede acelerarse hasta cerca de la velocidad síncrona, pero jamás podrá alcanzar exactamente la velocidad síncrona.

Dos términos se usan comúnmente para definir el movimiento relativo del rotor y de los campos magnéticos. Uno es la *velocidad de deslizamiento*, que se define como la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor.

$$n_{desliz} = n_{sinc} - n_m \quad (2.9)$$

En donde:

- $n_{desliz}$  velocidad de deslizamiento de la máquina [rpm].
- $n_{sinc}$  velocidad del campo magnético [rpm].
- $n_m$  velocidad mecánica del eje del rotor [rpm].

El otro término usado para describir el movimiento relativo es el deslizamiento, que es la velocidad relativa expresada con base en por-unidad o en porcentaje. El deslizamiento se define como:

$$s = \frac{n_{desliz}}{n_{sinc}} (\times 100\%) \quad (2.10)$$

$$s = \frac{n_{\text{sinc}} - n_m}{n_{\text{sinc}}} (\times 100\%) \quad (2.11)$$

En donde:

- s        deslizamiento  
 $n_{\text{sinc}}$     velocidad del campo magnético [rpm].  
 $n_m$         velocidad mecánica del eje del rotor [rpm].

Esta ecuación también puede expresarse en términos de velocidad angular (radianes por segundo) como:

$$s = \frac{\omega_{\text{sinc}} - \omega_m}{\omega_{\text{sinc}}} (\times 100\%) \quad (2.12)$$

En donde:

- s        deslizamiento  
 $\omega_{\text{sinc}}$     velocidad angular del campo magnético [rad/seg].  
 $\omega_m$         velocidad angular mecánica del eje del rotor [rad/seg].

El motor síncrono tiene un conmutador, el cual al ser alimentado con corriente directa independiente, propicia que su velocidad sea igual a la velocidad síncrona. Cuando el rotor gira a velocidad síncrona,  $S = 0$ , mientras que si el rotor está fijo,  $S = 1$ . Todas las velocidades normales del motor están en algún lugar entre estos dos límites. Cuanto más alta sea la velocidad de un motor de inducción más serán sus pérdidas por fricción, y cuanto mayor sea su deslizamiento, menor será la potencia mecánica, lo que hace menos eficiente el motor. Un motor con rotor de baja resistencia tiene un momento de arranque bajo y una corriente de arranque alta, aunque su eficiencia es bastante alta.

Una posible solución a esta dificultad es utilizar un motor de inducción con rotor devanado e incorporarle una resistencia de control durante el arranque, y retirarla durante su funcionamiento normal para mejorar la eficiencia. La desventaja es que los motores de rotor devanado son más costosos, necesitan más mantenimiento y requieren un circuito de control automático más complejo que los motores con rotor de jaula de ardilla. Además, algunas veces es importante sellar completamente un motor cuando se opera en ambientes peligrosos o explosivos.

Existe un tipo especial de rotor llamado de doble jaula, con el que puede producirse un rotor de resistencia variable, para combinar el momento de arranque alto

y la corriente de arranque baja de el diseño clase D, con el funcionamiento de deslizamiento de funcionamiento normal y la alta eficiencia del diseño clase A.

Este tipo de rotores tienen la desventaja de que son más costosos que los otros tipos de rotores de jaula de ardilla, pero son más baratos que los diseños de rotores embobinados y tienen un momento de torsión de arranque alto, con corriente de arranque baja y buena eficiencia en condiciones de funcionamiento normal.

### **c) Clases de Motores de Inducción**

Para ayudar a la industria a escoger los motores más apropiados para la gran variedad de aplicaciones en toda la gama de caballos de fuerza, se han definido una serie de diseños normalizados que se conoce como clase de diseño.

- **Diseño clase A.** Son los motores de diseños normales, con un momento de arranque normal, una corriente de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento de plena carga de esta clase de motores debe ser menor del 5% y menor también que el diseño de las motores clase B de condiciones equivalentes. El problema principal con esta clase de diseño es su extremadamente alto valor de corriente durante el arranque. Los flujos de corriente en el arranque están, generalmente, entre 500% y 800% de la corriente nominal. En tamaños por encima de unos 7.5 HP, se debe utilizar alguna forma de arranque de voltaje reducido para controlar los problemas de la caída de voltaje en el sistema de potencia al cual están conectados durante el arranque. En tiempos pasados, el diseño de motores clase A se usaba en la mayoría de las aplicaciones entre 7.5 HP y 200 HP, pero en los últimos tiempos se ha remplazado por el diseño clase B. Las aplicaciones más comunes están en los ventiladores, abanicos, bombas, tornos y otras máquinas-herramientas.
- **Diseño clase B.** Tienen un momento de torsión de arranque normal, una corriente de arranque más baja y un deslizamiento bajo. Este motor produce, aproximadamente, el mismo momento de arranque de los motores clase A, con cerca de un 25% menos de corriente. Las aplicaciones son similares a aquellas del diseño clase A, pero se prefiere el diseño clase B por razón de sus menores exigencias de corriente de arranque.
- **Diseño clase C.** Tienen un momento de torsión de arranque alto, con corriente de arranque baja y bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga. El momento de torsión es ligeramente más bajo que el de los motores de clase A. Estos motores se fabrican con rotores de doble jaula por lo que son más costosos que los motores de clases anteriores. Se usan para cargas que requieren un alto momento de arranque, tales como bombas cargadas, compresores y bandas transportadoras.

- **Diseño clase D.** Tienen un momento de torsión de arranque muy alto (275% o más del momento de torsión nominal) y una corriente de arranque baja, pero tienen también un deslizamiento alto a plena carga. Son esencialmente motores de inducción comunes, de clase A pero con las barras del rotor más pequeñas y hechos de un material de más alta resistencia. Estos motores se usan en aplicaciones que requieren la aceleración de cargas de tipo inercia extremadamente altas, especialmente volantes usados en prensas punzonadoras o grúas de tijera. En tales aplicaciones, estos motores aceleran un gran volante hasta su máxima velocidad, para luego impulsar la perforadora. Después de una operación de perforación, el motor reacelera el volante por un periodo de tiempo razonablemente largo para la siguiente operación.

Además de estas cuatro clases de diseños, también se tienen los diseños E y F, llamadas *arranque suave* de los motores de inducción. Estos diseños se distinguen por tener muy bajas corrientes de arranque y se usan para cargas de momento de arranque bajo, en situaciones donde las corrientes de arranque eran un problema. Estos diseños son obsoletos hoy en día.

#### **d) Arranque de los Motores de Inducción**

Los motores de inducción se pueden arrancar conectándolos simplemente a la línea de potencia. Sin embargo, a veces, hay buenas razones para no hacerlo en esta forma. Por ejemplo, la corriente que se necesita para arrancar, puede causar la caída en el voltaje en el sistema de potencia.

Para motores de inducción de rotor devanado, el arranque se puede lograr relativamente con bajas corrientes, insertando una resistencia adicional en el circuito del rotor, durante el arranque. Esto disminuye la corriente de arranque y además aumenta el momento de torsión. Para los motores de inducción tipo jaula de ardilla, la corriente de arranque puede variar ampliamente, dependiendo de la potencia nominal del motor y de la resistencia efectiva del rotor en condiciones de arranque.

#### **e) Control de la Velocidad de los Motores de Inducción**

Hasta que aparecieron los accionamientos de estado sólido, los motores de inducción no fueron buenas máquinas para las aplicaciones en donde se requería un considerable control de la velocidad.

Hay solamente dos técnicas para controlar la velocidad de un motor de inducción. Una es variar la velocidad síncrona, que es la velocidad de los campos magnéticos del



estator y del rotor, puesto que la velocidad del rotor siempre permanece cercana a  $n_{sinc}$ . La otra técnica es variar el deslizamiento del motor para una carga determinada.

La velocidad síncrona de un motor de inducción se obtiene por medio de

$$n_{sinc} = \frac{120 f}{P} \quad (2.13)$$

En donde:

$n_{sinc}$  velocidad síncrona [rev/min].  
 $f$  frecuencia [Hz].  
 $P$  número de polos.

Por lo cual las únicas formas de variar la velocidad síncrona de una máquina son: (1) Cambiando la frecuencia eléctrica y (2) Cambiando el número de polos de la máquina. El control del deslizamiento puede lograrse variando, bien la resistencia del rotor, o la tensión en los bornes del motor.

Usando un control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base y el control puede estar en una franja que va desde un 5% hasta cerca del doble de la velocidad base (se conoce como velocidad base a la velocidad síncrona del motor en condiciones nominales).

En tiempos pasados, la desventaja principal del control de la frecuencia eléctrica para el control de la velocidad requería de un generador dedicado o cambiador de frecuencia para hacerlo funcionar. El problema desapareció con la aparición de los modernos accionamientos de estado sólido de frecuencia variable para motores de inducción, y a resultado ser el método preferido para controlar la velocidad de cualquier motor de inducción.

El método de control de velocidad a través del cambio de voltaje en la línea se usa en algunas oportunidades en motores pequeños para impulsar ventiladores. El principio de este método de control es que el momento de torsión que desarrolla un motor de inducción es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado.

Como ya se mencionó anteriormente, otra forma de controlar la velocidad es por medio de la inserción de resistencias adicionales en el circuito del rotor, pero como consecuencia se reduce seriamente su eficiencia, por lo que se usa únicamente en periodos cortos de operación.

## f) Accionamiento de Estado Sólido para Motores de Inducción

El método preferido para el control de la velocidad de los motores de inducción es utilizar accionamientos de estado sólido de frecuencia variable. El accionamiento es muy flexible: la potencia de alimentación al control de velocidad puede ser tanto monofásica como trifásica, de 50 o 60 Hz y de entre 208 y 230 V. La salida de control es un conjunto de voltajes trifásicos donde la frecuencia puede variar desde 0 hasta 120 Hz y el voltaje de 0 V hasta el voltaje nominal del motor.

El voltaje de salida y el control de frecuencia del control de velocidad se logra utilizando la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM), y tanto frecuencia y voltaje de salida pueden controlarse individualmente a través de éste método. El accionamiento puede controlarse manualmente a través de un control montado sobre el gabinete de dicho mecanismo o a distancia por medio de una señal externa de voltaje o de corriente. Esto permite a una computadora externa o un proceso, regular la velocidad del motor de acuerdo con las necesidades de la planta en que se instale.

## g) Protección del Motor

El accionamiento del motor de inducción tiene en su interior una variedad de características diseñadas para proteger al motor que se le acople. Este accionamiento puede detectar corrientes excesivas de condición estable (condición de sobrecarga), corrientes instantáneas excesivas, condiciones de sobrevoltaje o bajo voltaje. En cualquiera de los casos anteriores, el motor se apagará.

### 2.2.14. Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos

El objetivo de un sistema de adquisición de datos es recopilar y registrar los datos en una forma adecuada para su procesamiento y/o presentación.

El esquema general de un sistema de adquisición de datos consta de varias etapas, las cuales se representan gráficamente en un diagrama a bloques en la figura 2.25.

1. La etapa de entrada, la cual consiste en los transductores apropiados y los circuitos acondicionadores de señal (amplificadores, filtros, etc).
2. Una etapa de conversión de señal, la cual convierte la señal de entrada (voltaje o corriente) en un voltaje y a continuación expresa este voltaje en forma digital.
3. Una etapa de salida, la cual maneja la señal digital y la expresa en forma impresa en una hoja de papel, grafica los datos en papel adecuado o almacena los datos en memoria. La etapa de salida debe incluir circuitos de acoplamiento adecuado para

convertir la señal digital en una forma tal que pueda activar una impresora, memoria, etc.

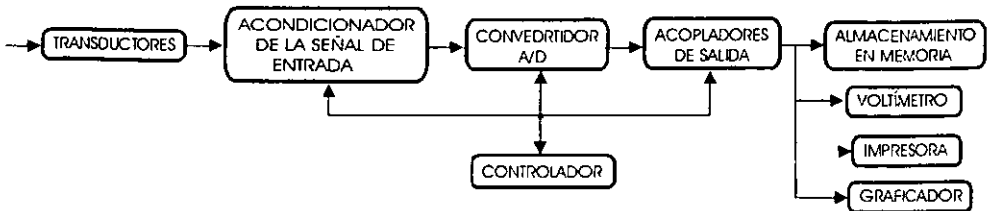


Figura 2.25. Diagrama esquemático de un sistema de adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos debe incluir los recursos necesarios para recolectar datos a través de múltiples canales de entrada.

En la actualidad existen muy variados instrumentos que son auxiliares para hacer mediciones entre los cuales se encuentran:

- Controladores (Neumáticos, eléctricos, etc.)
- Instrumentos en panel.
- Estación microcontroladora.

### 2.2.15. Acondicionadores de Señal

La señal analógica del transductor raramente es de forma adecuada para registrarse o mostrarse directamente. Generalmente debe primero pasar por una serie de procesos de acondicionamiento de señal antes de mostrarse. Esos procesos pueden ser algunos o todos los siguientes: amplificación, filtrado, linealización, desfasamiento y amortiguación. El equipo de acondicionamiento de señal en los sistemas de instrumentación se diseña para llevar a cabo esas funciones. El proceso de amplificación (y algunas veces de amortiguación) se lleva a cabo mediante amplificadores electrónicos. Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta en el acondicionamiento de una señal, son:

- **Filtrado.** El ambiente en que se llevan a cabo las mediciones eléctricas puede ocasionar que señales indeseables de interferencia se acoplen en el sistema de medición. También se puede presentar la interferencia en la misma señal (interferencia interna). Esa interferencia, no obstante todos los intentos para reducir su magnitud, puede seguir originando errores demasiado grandes en los datos de medición. Sin embargo, con frecuencia puede reducirse la severidad de esta interferencia mediante el empleo de filtración adecuada en el sistema. Los filtros

pueden diseñarse para rechazar señales en los rangos de frecuencia específicos que se desee (filtros paso baja, filtros paso alta, filtros paso banda, etc). Se pueden implementar circuitos de filtro con sólo resistencias, capacitancias e inductancias (filtros pasivos) o bien empleando dispositivos activos (transistores, amplificadores operacionales), ganancia y realimentación (filtros activos). Para muchos transductores, la velocidad de transferencia de información es más bien baja y sus anchos de banda máximos son de cerca de 10 Hz. El filtrado de ruido de las señales de estos transductores se realizan relativamente fácil con el uso de filtros paso baja. Estos responden perfectamente a señales de muy bajas frecuencias y tienen gran atenuación a altas frecuencias.

- **Linealización.** En muchos casos, la proporcionalidad que existe entre la variable de entrada al transductor y su señal de salida no es lineal. Las lecturas o los mecanismos de registro de los sistemas se diseñan generalmente para responder a señales como si la relación entre la entrada y salida de las fuentes de señal fueran lineales. Así, las no linealidades reales causan errores en los datos medidos. Para reducir esos errores, la salida del transductor se puede linealizar como parte del proceso de acondicionamiento de señal analógica. Para corregir (linealizar) las señales de salida del transductor se emplean varias técnicas de linealización, incluyendo la modificación de los circuitos del transductor, o el procesamiento analógico de la señal del transductor.
- **Desviación y conversión de nivel.** La salida del transductor del sistema puede estar en una forma, mientras que el dispositivo de lectura podría necesitar la señal en otra forma (por ejemplo, de una corriente de 4 a 20 mA.) También podría ser que la señal tuviera una variación pequeña en comparación con un valor grande. Esta y otras situaciones necesitan de alguna forma de acondicionamiento de señal que altere la señal correctamente para hacerla compatible para la interacción con los elementos siguientes del sistema.
- **Amortiguamiento (igualación de impedancia).** La impedancia de salida de los transductores puede ser fuente de problemas en ciertas aplicaciones de sistemas. Las impedancias desequilibradas pueden conducir a errores de interferencia de modo común. Se usan circuitos tanto pasivos como activos (que comprenden generalmente amplificadores de instrumentación) como elementos acondicionadores de señal de transformación de impedancia (o amortiguadores) para superar esos problemas.

### 2.2.16. Sistemas de Conversión Analógica a Digital

Las señales digitales tienen una ventaja muy importante sobre las analógicas: la de inmunidad mucho mayor a la captación de ruido de señales transmitidas en forma digital.

Un sistema de conversión analógico a digital puede contener algunos o todos los elementos siguientes:

- **La fuente de señal (señal eléctrica o de transductor).** Es la que proporcionará la energía a todo el sistema de conversión analógico a digital.
- **Un multiplexor (en los sistemas multicanal).** Acepta las entradas múltiples y las conecta a un dispositivo único de medición. En los multiplexores se pueden conectar varias fuentes de señal de entrada a las entradas del sistema de adquisición de datos analógico a digital. Consiste de un interruptor selector activado mediante un circuito de control que se puede ajustar a cualquier canal, mediante señales externas.
- **Circuito de muestreo y retención.** Muestra la señal analógica a un determinado tiempo. El número de muestras que deben tomarse de la señal analógica viene determinado por el teorema del muestreo. El retén tiene como función el mantener el nivel de voltaje de la señal analógica en su salida hasta que el convertidor analógico a digital lleva a cabo su operación de conversión.
- **Convertidor analógico a digital.** Es la parte que convierte el nivel de voltaje que entrega el retén a su salida, para ser convertido a una palabra binaria de un número  $n$  de bits en base a la resolución buscada de la señal analógica. Los métodos para convertir señales analógicas a digital son: Rampa de escalera, aproximaciones sucesivas, doble rampa, voltaje a frecuencia y paralelo (o instantáneo).
- **Dispositivo de control del sistema** Puede ser una computadora, una calculadora programable, etc.

Un ejemplo de un sistema de conversión analógico a digital se muestra en la figura 2.19., en el que se tiene un circuito multiplexor sólo para el caso en que se tengan varias entradas analógicas. Este multiplexor normalmente contiene un circuito decodificador, el cual determina el canal a ser conectado en la salida. Seguido de éste, se tiene un amplificador de instrumentación, que eleva la señal analógica a valores medibles por el convertidor analógico-digital, y en éste se pueden tener algunos efectos de filtrado de la señal. Esta señal posteriormente pasa al muestreador y retén para tomar las lecturas que en el convertidor analógico-digital se traducen en unos y ceros. Todo este sistema viene acompañado de un controlador, que por lo general lleva temporizadores y señales de decodificación del multiplexor, sólo para el caso de señales múltiples. En la figura 2.26 se tiene un diagrama general a bloques de un sistema de conversión A/D.

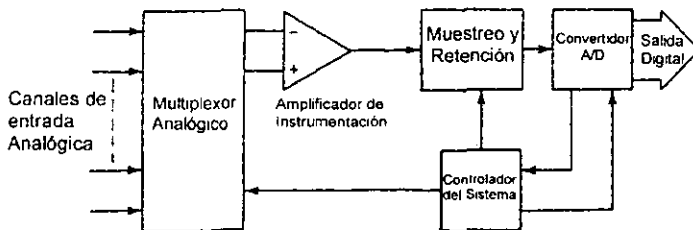


Figura 2.26. Diagrama general de un sistema de conversión A-D.

### a) Teorema General del Muestreo

Frecuentemente, una señal representada por una función  $h(t)$ , no es medida o representada en su forma continua, por lo cual es preferible medirla en intervalos fijos de tiempo, o muestreada. Si  $h(t)$  es medida en tiempos discretos dados por:

$$t_n = n\Delta ; n = \dots -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.14)$$

donde  $\Delta$  es conocido como el intervalo de muestreo. Por lo cual se puede escribir:

$$h_n = h(t_n) \quad (2.15)$$

y  $h_n$  es una representación discreta de  $h(t)$ .

Se puede decir que la función  $h(t)$  es de banda limitada si su transformada de Fourier  $H(f)=0$  para  $|f| > f_c$ , donde  $f_c$  es una frecuencia finita 'crítica'. Una señal es de banda limitada cuando ésta se filtra con los circuitos adecuados o porque la propia señal tiene límites naturales, por ejemplo, la voz humana.

El teorema de muestreo establece que una función de banda limitada  $f(t)$  se encuentra completamente especificada por valores muestreados  $f(t_n)$ , teniendo un intervalo de muestreo no mayor a:

$$\Delta = \frac{1}{2f_c} \quad (2.16)$$

La frecuencia  $f_c$  es conocida como la frecuencia de Nyquist, para un intervalo de muestreo  $\Delta$ .

Dicho en otras palabras, la frecuencia de muestreo  $f_m$  debe ser igual o más de 2 veces la frecuencia de una señal analógica  $f_c$ :

$$f_m \geq 2f_c \quad (2.17)$$

### b) Convertidores Analógico-Digital

En este apartado se detallará acerca de los métodos más empleados para la conversión de una señal analógica a digital utilizados en los circuitos disponibles en el

mercado, tales como los convertidores de rampa de escalera, de aproximaciones sucesivas, de doble rampa, de voltaje a frecuencia y en paralelo.

- Convertidores A/D de rampa de escalera.** Estos son los convertidores más sencillos. Cuando inicia la lógica de control, el voltaje analógico de entrada se compara con una salida de voltaje de un convertidor D/A. La salida del convertidor D/A comienza en cero y se incrementa en un bit menos significativo con cada pulso de reloj. Siempre que el voltaje de entrada  $V_{ent}$  sea mayor que el voltaje de salida del convertidor D/A, el comparador producirá una señal de salida que continúa permitiendo que los pulsos de reloj se alimenten al contador. Cuando el voltaje de salida de ese convertidor es mayor que  $V_{ent}$ , la salida del comparador cambia y esta acción evita que los pulsos de reloj lleguen al contador. El estado del contador en ese instante representa el valor de  $V_{ent}$  en forma digital. La desventaja de este convertidor es que, no obstante su simplicidad, es bastante lento y el tiempo de conversión depende de la amplitud en  $V_{ent}$ . El error máximo de salida del convertidor es  $\pm 1$  bit menos significativo. En la figura 2.27 observamos un diagrama a bloques del convertidor A/D de rampa de escalera.

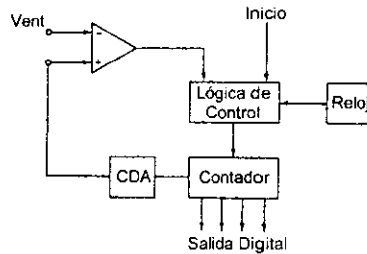


Figura 2.27. Convertidor A/D de rampa de escalera.

- Convertidores A/D de aproximaciones sucesivas.** Se utilizan ampliamente debido a su combinación de alta resolución y velocidad (es decir, pueden efectuar conversiones entre 1 y 50  $\mu s$ , en lugar de los milisegundos necesarios por los convertidores de rampa de escalera, de doble rampa o de voltaje a frecuencia). Sin embargo, son más caros que los lentos. El diagrama se parece mucho al de rampa de escalera, pero la diferencia estriba en la lógica especial del convertidor. En lugar de permitir que el voltaje de referencia del comparador (que proviene de la salida de un convertidor D/A) aumente desde cero pasando por todos los escalones hasta alcanzar a  $V_{ent}$ , la lógica de este convertidor prueba varios códigos de salida y los alimenta al convertidor D/A y a un registro de almacenamiento y compara el resultado con  $V_{ent}$  a través del comparador. Las entradas del convertidor D/A se ajustan a '0' al comenzar. La lógica de control lleva al dígito más significativo del convertidor a '1' y el comparador prueba la salida resultante del convertidor contra la entrada analógica. El comparador llega a una decisión acerca de si almacenar el bit

'1' en el registro correspondiente o almacenar un '0'. A continuación el segundo bit del convertidor se lleva a '1' y se hace una segunda decisión. Después de  $n$  bits, el registro de almacenamiento contiene todos aquellos bits que se almacenaron con '1' o como '0' y el contenido total será una aproximación digital del voltaje de la señal analógica de entrada. En la figura 2.28 se tiene un convertidor A/D por aproximaciones sucesivas.

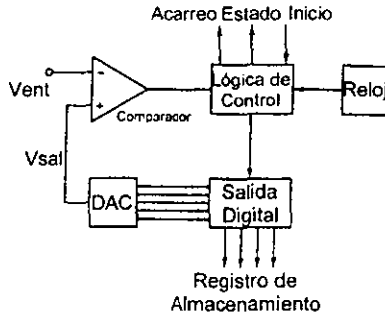


Figura 2.28. Conversión A/D por aproximaciones sucesivas.

- Convertidores A/D de doble rampa.** Se emplean ampliamente en aplicaciones en donde la mayor importancia estriba en la inmunidad al ruido, gran exactitud y economía. Los convertidores de doble rampa pueden suprimir la mayor parte del ruido de la señal de entrada debido a que emplean un integrador para efectuar la conversión. En efecto, el rechazo del ruido puede ser infinito para una frecuencia específica del ruido si el primer periodo de integración del convertidor se iguala al periodo del ruido. Por lo tanto, para rechazar el ruido prevaeciente debido a las líneas de alimentación de 60 Hz, se necesita que  $T_1$  sea de 16.667 ms. Sin embargo, esta ventaja también conduce a tiempos de conversión muy largos (típicamente de 10 a 50 ms). Sin embargo, las ventajas de los convertidores de doble rampa los hacen muy adecuados para aplicaciones en las que no sean necesarios tiempos breves de conversión. Se emplean mucho, especialmente en aplicaciones de instrumentos de precisión tales como vóltmetros digitales. En la figura 2.29 tenemos el esquema de conversión A/D de doble rampa.

Su principio de conversión es el siguiente; el voltaje de corriente directa que se va a convertir,  $V_{ent}$ , se alimenta a un integrador, que produce una salida en forma de rampa. La señal de rampa comienza en cero y aumenta para un intervalo fijo de tiempo,  $T_1$ , igual a la cuenta máxima del contador multiplicada por la frecuencia del reloj.



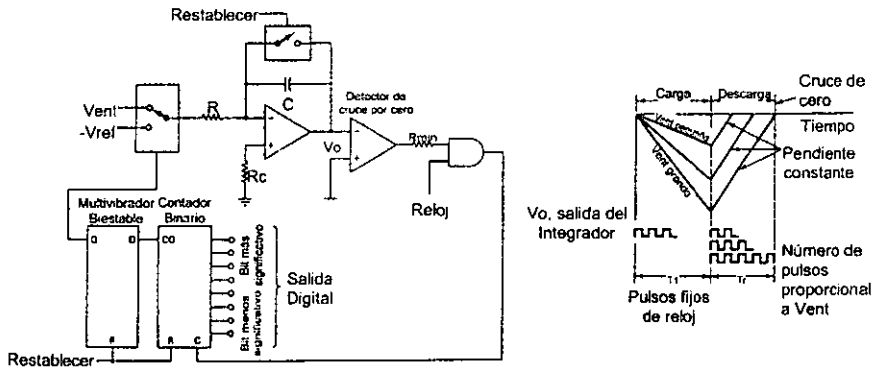


Figura 2.29. Conversión A/D de doble rampa.

Un contador de 8 bits operando a 1 MHz tendría un  $T_1$  de 8  $\mu$ s. La pendiente de la rampa es proporcional a la magnitud de  $V_{ent}$ . Al término del intervalo  $T_1$ , el bit de transferencia del contador de fluctuaciones hace que el interruptor se mueva a la posición  $-V_{REF}$ . En esa posición, una fuente de corriente constante ( $-V_{REF}/R$ ), comienza a descargar el capacitor C. El contador de fluctuaciones se restablece a cero cuando se tiene un bit de transferencia. El conteo continúa hasta que el interruptor detector de cruce de cero conmuta el estado como resultado de haberse descargado C. Se detiene el contador por el detector y la cuenta resultante es proporcional al voltaje de entrada.

- **Convertidor de voltaje a frecuencia.** En este tipo de convertidores, el voltaje de CD de entrada se convierte (mediante un convertidor de voltaje a frecuencia) en un conjunto de pulsos cuya velocidad de repetición (o frecuencia) es proporcional a la magnitud del voltaje de alimentación. Los pulsos se cuentan mediante un contador electrónico, en forma semejante al de contar las longitudes de onda con el contador de intervalo de tiempo en el voltmetro digital de doble rampa. Por lo tanto, la cuenta es proporcional a la magnitud del voltaje de entrada. Como el ruido aleatorio tiende a un valor promedio de cero, este tipo de voltmetro digital puede rechazar el ruido de CA. Esto es, su valor indicado es igual al valor promedio medido durante un intervalo específico de tiempo. Esta posibilidad de rechazo de ruido es la ventaja principal de este tipo de convertidores.
- **Convertidores en paralelo (o instantáneo).** Estos convertidores llevan a cabo las más rápidas conversiones A/D. En esta técnica, un voltaje de entrada se alimenta simultáneamente a una entrada de cada uno de N comparadores. La otra entrada de cada comparador es un voltaje fijo de referencia. El comparador recibe un valor distinto del voltaje de referencia, comenzando en  $V_{Rmax}$ . Empleando el principio del

divisor de voltaje y valores iguales de R, el valor del voltaje de referencia  $V_{Rp}$  en cada comparador estará dado por:

$$V_{Rp} = V_{R \max} \frac{n}{Q} \quad (2.18)$$

donde,

n: es el número de comparador.

Q: es el número total de resistencias = n+1.

Así, el voltaje de entrada para el comparador 1 será  $V_{R \max}/9$ , para el comparador 2 será  $2V_{R \max}/9$ , y así sucesivamente. Esta información se alimenta a un circuito codificador que es funcionalmente semejante a un codificador de prioridad.

### 2.2.17. Transmisión de Señales Analógicas

Generalmente, las señales analógicas pueden transmitirse al dispositivo de medición o de registro desde el punto de la medición. Los datos en la señal se pueden mantener en forma analógica durante la transmisión, o pueden convertirse a digitales antes de mandarse a su destino.

En el caso de la transmisión de señales analógicas, estas se mandan directamente desde el transductor hasta los instrumentos de medición y registro, sin acondicionamiento adicional (amplificación, filtrado, etc). Este método de transmisión es el más sencillo, pero su aplicación es muy limitada. Si la fuente de señal y el instrumento de medición están muy cerca (de 1 a 2 m) y los niveles de la señal no son demasiado pequeños (por ejemplo,  $>100$  mV), esta técnica puede ser lo suficientemente eficaz para dar resultados satisfactorios. Esto es, la señal de voltaje puede llegar a los instrumentos sin haberse degradado apreciablemente por la resistencia del cable o por la captación de ruido externo.

Sin embargo, si los niveles de señal son pequeños ( $<100$  mV) y si los instrumentos pueden estar localizados a cierta distancia del punto de medición ( $>5$  m), este método sencillo de transmisión de señal analógica probablemente no sea suficiente. La mayor parte de las mediciones de aplicaciones de control de proceso involucran la transmisión de señales de bajo nivel. La transmisión analógica de larga distancia y bajo nivel es muy susceptible a degradación de la señal debida a captación de ruido externo, problemas de ruido de modo común (circuito a tierra) y reducción del voltaje de señal debida a la resistencia del cable. Además, si la señal es un voltaje analógico de corriente alterna, se debe tomar en cuenta también su modificación debido a la capacitancia de las líneas de transmisión (que aumenta directamente con el aumento en la longitud del cable). Por lo tanto, generalmente se emplean otros dos

métodos de transmisión de señal si es necesario mandar señales de bajo nivel y en forma analógica a través de grandes distancias. Esos métodos son 1) transmisión de voltaje analógico de señales aumentadas por amplificadores de instrumentación antes de su transmisión y 2) transmisión de corriente analógica, en la que se amplifica la señal analógica y a continuación se convierte a forma de corriente con un valor entre 4 y 20 mA (circuito de corriente de 4 a 20 mA).

La transmisión de voltaje analógico empleando amplificadores de instrumentación cerca de la fuente de señal es un método muy común si la distancia es menor a unos 30 m. Este método es menos caro que el método de corriente analógica (4 a 20 mA) y es igualmente efectivo siempre que no se rebase la limitación de distancia. La señal de bajo nivel de la fuente se amplifica mediante un amplificador de instrumentación, colocado tan cerca de la fuente de señal como sea posible. La salida del amplificador de instrumentación es una señal de voltaje analógica de alto nivel de 0 a 5 V, o 0 a 10 V. Debido a que tienen amplitudes sustancialmente mayores, esas señales de voltaje de alto nivel no sufren tanta degradación durante la transmisión en sistemas bien diseñados contra captación de ruido externo. Sin embargo, para distancias mayores que 30 metros, la resistencia del cable, los problemas de conexión a tierra, etc., reducen la eficacia de esta técnica y entonces se perfila como la mejor selección el método del circuito de corriente de 4 a 20 mA.

El método de transmisión de corriente analógica emplea una señal analógica de corriente de CD, con un valor de 4 mA correspondiendo a señal de valor cero y de 20 mA representando la escala completa. Éste método ha llegado a ser el favorito para la distribución de datos en muchas aplicaciones industriales (es también un método seguro de transmisión, porque la falta repentina de corriente en el circuito es una indicación inmediata de una descompostura en el sistema de transmisión). La señal de corriente se puede transmitir a distancias de hasta 3 km, y esto permite que la medición de parámetros tales como presión, temperatura, etc., se conduzca hacia cuartos de control desde lugares remotos de plantas. Se pueden conectar diferentes cargas al circuito de transmisión debido a que los circuitos están diseñados para trabajar en cualquier carga de 0 hasta 1000  $\Omega$ . También, la señal en el circuito de corriente es más inmune al ruido que una señal de voltaje, porque los circuitos del método de 4 a 20 mA constituyen trayectorias de baja impedancia. Además, como la corriente en un circuito en serie es constante en cualquier lugar del trayecto en serie, no hay degradación de la señal con la distancia como la hay al transmitir señales de voltaje (la degradación de la señal de voltaje con la distancia se presenta debido a las caídas de voltaje a través de la resistencia del cable por el que se transmite la señal).

El transmisor de 4 a 20 mA que se emplea para implementar este método amplifica las señales de voltaje analógico del transductor, sensor o fuente de señal y a continuación las convierte a una señal analógica de corriente. Los transmisores son alimentados mediante una fuente de voltaje directo de 24 o 48 V y las salidas del transmisor son señales de corriente que van de 4 a 20 mA. Los transmisores están

encerrados en cajas herméticas y a prueba de explosión, lo que los hace ideales para empleo en ambientes extremos o peligrosos, figura 2.30.

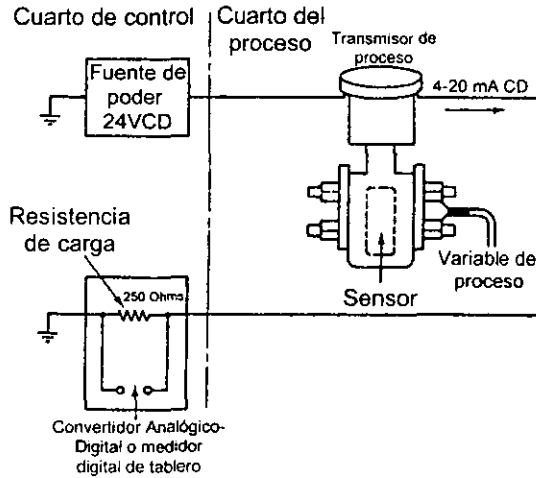


Figura 2.30. Transmisión de una señal analógica.

En la figura 2.30 se muestra un sistema de 4 a 20 mA en que se emplea ese transmisor. Vemos que la señal de corriente se puede reconvertir a la señal de voltaje más empleada que se mide con voltímetros, colocada en serie en el circuito 4 a 20 mA.

### 2.3. SISTEMAS DE LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO

El objetivo de un sistema de control es el de gobernar la respuesta de una planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Dicho operador manipula únicamente las magnitudes denominadas de consigna y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través de los accionamientos.

El concepto lleva de alguna forma implícita que el sistema de control opera, en general, con magnitudes de baja potencia, llamadas genéricamente señales, y gobierna unos accionamientos que son los que realmente modulan la potencia entregada a la planta.

Según la definición anterior, el conjunto de sistema de control de accionamientos se limitaría a ser un convertidor amplificador de potencia que ejecuta las ordenes dadas, a través de las magnitudes de consigna. Este tipo de sistema de control se

denomina de *lazo abierto*, como el mostrado en la figura 2.31, por el hecho que no recibe ningún tipo de información del comportamiento de la planta.

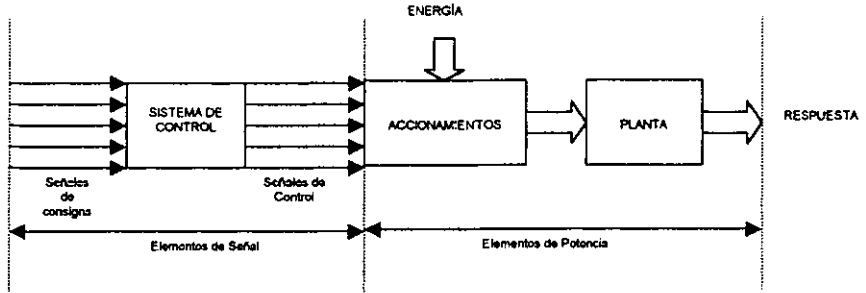


Figura 2.31. Sistema de Control de Lazo Abierto.

Lo habitual, sin embargo, es que el sistema de control se encargue de la toma de ciertas decisiones antes determinados comportamientos de la planta, hablándose entonces de sistemas automáticos de control. Para ello se requiere la existencia de unos sensores que detecten el comportamiento de dicha planta y de unas interfaces para adaptar las señales de los sensores a las entradas del sistema de control. El diagrama de bloques será, en este caso, el de la figura 2.32. Este tipo de sistemas se denomina de *lazo cerrado*, ya que el diagrama muestra claramente una estructura con una cadena directa y un retorno o realimentación, formando un *lazo de control*.

Así pues, en el caso más general se podrá dividir el sistema de control en los siguientes bloques:

- Sistema de control
- Accionamientos
- Sensores
- Interfaces

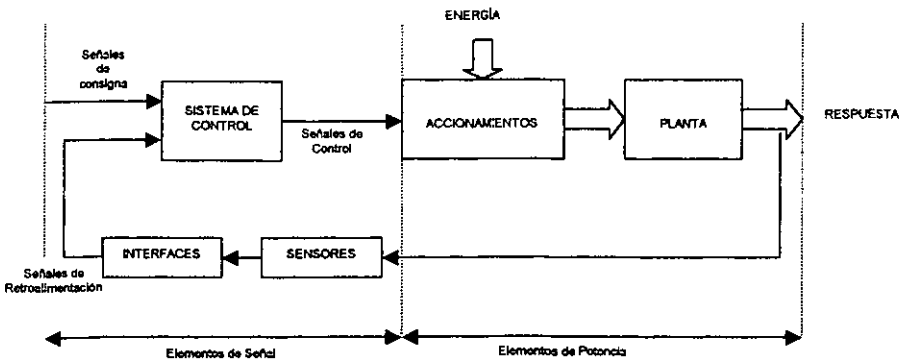


Figura 2.32. Sistema de Control de Lazo Cerrado.

### 2.3.1. Modos de Control

Un *controlador* automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (valor deseado), determina el error, y produce una señal de control que tiende a reducir el error a cero, o un valor muy pequeño. La forma como el controlador automático produce la señal de control se llama acción de control.

Algunos controladores trabajan en acción inversa es decir, cuando hay un incremento en señal que entra al controlador, se presenta un decremento en señal de salida de él. Cuando un controlador trabaja en acción directa, se presenta un incremento en su señal de entrada.

Para determinar la acción del controlador, se debe conocer:

- Los requerimientos del control de proceso.
- La acción del elemento final de control (el actuador).

Los controladores industriales analógicos se pueden clasificar de acuerdo con sus acciones de control, de la siguiente forma:

- Controladores de dos posiciones, o encendido-apagado (on-off);
- Controladores proporcionales (P);
- Controladores integrales (I);
- Controladores proporcionales-integrales (PI);
- Controladores proporcionales-derivativos (PD).
- Controladores proporcionales-integrales-derivativos (PID).

Un diagrama de bloque ilustrativo de las etapas de control en una planta, se muestran en la figura 2.33.

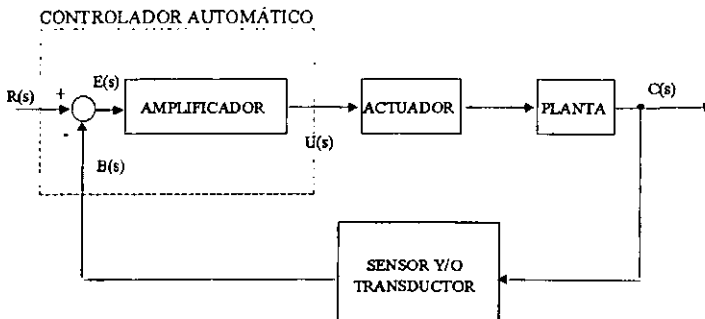


Figura 2.33. Representación de un sistema de control.

### 2.3.2. Control ON - OFF

Un control ON-OFF está definido por la acción de control de dos posiciones: la señal de salida  $u(t)$  permanece en un valor máximo o mínimo, dependiendo de la entrada  $e(t)$  al controlador, de modo que para un control de acción directa tenemos:

$$u(t) = \begin{cases} U_H, & \text{para } e(t) > E/2 \\ U_L, & \text{para } e(t) < -E/2 \end{cases} \quad (2.19)$$

Donde  $E$  se le conoce como la brecha diferencial ó histéresis;  $U_H$  y  $U_L$  son, respectivamente, los niveles alto y bajo de  $u(t)$ . ¿Qué ocurre entre  $-E/2 < e(t) < E/2$ ? Si el nivel es alto se mantiene alto hasta llegar al límite  $-E/2$ , y si era bajo se mantiene bajo hasta llegar al límite  $E/2$ .

En algunos casos la brecha diferencial es resultado de una fricción no intencional o un desajuste, pero a veces se provoca deliberadamente para evitar el accionamiento frecuente del actuador.

La oscilación de la salida  $u(t)$  puede reducirse si se disminuye la brecha diferencial, pero esto acorta la vida útil de los componentes.

### 2.3.3. Control Proporcional

En este tipo de control la salida  $u(t)$  es proporcional al error, esto es:

$$u(t) = u + K_p e(t) \quad (2.20)$$

La función de transferencia del control proporcional es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.21)$$

Donde  $u$  es el valor de  $u(t)$  cuando el error es cero,  $K_p$  es la ganancia del controlador y  $e(t)$  es la señal de error. Cualquiera que sea el mecanismo en sí y sea cual fuere la fuente que lo alimenta, el control proporcional esencialmente es un amplificador con ganancia ajustable.

**Ventajas:** cuentan con un sólo parámetro de ajuste.

**Desventajas:** operan con una desviación permanente (error en estado estacionario). No son satisfactorios en procesos que el control debe estar en el punto de control ( $e(f)=0$ ). A mayor  $K_p$ , menor es el error estacionario, pero mayor el riesgo a inestabilidad.

### 2.3.4. Control Integral

En un control con acción integral, el cambio de la salida en el tiempo es proporcional a la señal de error, es decir:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.22)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.23)$$

donde  $K_i$  es la constante de integración. La función de transferencia del control integral es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.24)$$

En la mayoría de los casos se usa el tiempo de integración  $T_i = 1/K_i$ .

**Ventajas:** Para un error igual a cero, el valor de  $u(t)$  se mantiene estacionario.

**Desventajas:** Si se duplica el valor de  $e(t)$ , el valor de  $u(t)$  varía dos veces más rápido.

### 2.3.5. Control Proporcional-Integral

La salida  $u(t)$  es la suma de los efectos proporcional e integral:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.25)$$



$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[ 1 + \frac{1}{sT_i} \right] \quad (2.26)$$

Donde  $K_p$  es la constante proporcional y  $T_i$  el tiempo integral. Aquí  $T_i$  se mide en unidades de tiempo por repetición, porque representa el tiempo que toma al controlador repetir la acción proporcional. Tanto menor es el valor de  $T_i$  cuanto más rápida es la curva de respuesta.

**Ventajas:** mientras esté presente el error, el controlador se mantiene cambiando su salida (integrando el error) para disminuir el error hasta hacerlo cero. Elimina la desviación de un control sólo proporcional.

**Desventajas:** amplifica las señales de ruido, opera con una desviación (error estacionario) en la variable que controla. Un control sólo derivativo no es práctico, ya que sólo funciona cuando el error varía en el tiempo.

### 2.3.6. Control Proporcional-Derivativo

La ecuación para el control PD es ideal, ya que la parte derivativa resulta muy inestable en la vida real. La acción de control está dada por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.27)$$

La función de transferencia resulta ser:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p [1 + T_d s] \quad (2.28)$$

Donde  $K_p$  es la sensibilidad proporcional y  $T_d$  es el tiempo derivativo. Ambas son regulables. La acción de control derivativa, a veces denominada control de velocidad, es cuando el valor de salida del control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error.

**Ventajas:** La acción de control derivativo tiende a ser anticipadora.

**Desventajas:** Amplifica las señales de ruido y puede producir efecto de saturación en el actuador. Hay que notar que nunca se puede tener una acción de control

derivativo sola, porque este control es efectivo únicamente durante períodos transitorios.

### 2.3.7. Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

En el caso de un control PID, la salida es la suma de las contribuciones de las partes proporcional, integral y derivativa:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.29)$$

La función de transferencia está dada por:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[ 1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right] \quad (2.30)$$

**Ventajas:** Esta acción de control tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. Disminuye los sobreimpulsos y bajoimpulsos y oscilaciones alrededor del punto de control. La parte integral proporciona la capacidad de "ver" hacia dónde se dirige el proceso, o sea, responde al ritmo de la variación del error antes de que este se vuelva excesivamente grande.

**Desventajas:** la parte derivativa hace que el controlador tome más tiempo para llegar al punto de control. Además la parte de control es susceptible al ruido. Estos circuitos son útiles en sistemas con constante de tiempo grande, sin ruidos.

### 2.3.8. Sintonización Ziegler-Nichols de controladores PID

Existen varios métodos de diseño sofisticados para desarrollar controladores que satisfagan las especificaciones en estado estacionario y transitorio para rastreos de las señales de entrada y rechazo al ruido. Estos métodos requieren modelos completos de la dinámica del proceso que se va a controlar en forma de ecuaciones de movimiento o funciones de transferencia.

Callender y otros (1936) intentaron seleccionar una clase de dinámicas comunes de sistemas y controladores PID ampliamente usados, y especificar valores satisfactorios para los ajustes de un controlador basado en estimaciones de los parámetros de la planta que podrían ser realizados por un ingeniero de operación a partir de experimentos en el proceso mismo.

Ziegler y Nichols reconocieron que la respuesta de escalón de la mayoría de los sistemas de control de procesos tiene la curva en forma de S, denominada curva de reacción del proceso y se puede generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La forma de la curva es característica de los sistemas de orden superior, y el comportamiento entrada-salida de la planta se puede aproximar por:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-\tau s}}{\tau s + 1} \tag{2.31}$$

que es simplemente un sistema de primer orden más un retraso de transporte. Las constantes de la ecuación anterior pueden determinarse a partir de la respuesta de escalón unitaria del proceso. Si se dibuja una tangente en el punto de inflexión de la curva de reacción, entonces la pendiente de la línea es aproximadamente  $R = K / \tau$ , y la intersección de la tangente con el eje de tiempo identifica el retraso de tiempo  $L = t_d$ . Si la salida real de la planta no se ajusta a este modelo simple, se pueden añadir otros polos. Sin embargo, el modelo será adecuado probablemente para proveer un primer intento de diseño del controlador. En la figura 2.34 se tiene la curva de reacción del proceso.

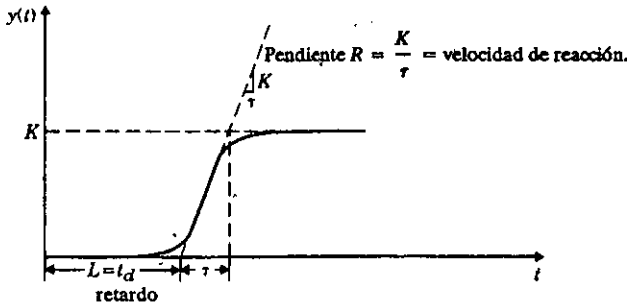


Figura 2.34. Curva de reacción del proceso.

Ziegler y Nichols dieron dos métodos para sintonizar el controlador. En el primer método, la elección de los parámetros del controlador está basada en una razón de caída de aproximadamente 0.25, lo cual significa que un transitorio dominante decae a un cuarto de su valor después de un periodo de oscilación, como se muestra en la figura 2.35.

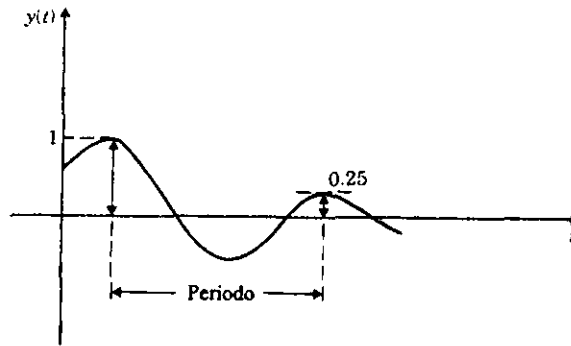


Figura 2.35. Razón de decaimiento de 1/4 en respuesta a escalón de un controlador PID.

Una caída de un cuarto corresponde a un  $\xi = 0.21$  y es un buen compromiso entre una respuesta rápida y márgenes de estabilidad adecuada. Las ecuaciones para el sistema fueron simuladas en una computadora analógica y los parámetros del controlador se ajustaron hasta que los transitorios mostraron una caída de 25% en un periodo.

Los parámetros del regulador sugeridos por Ziegler y Nichols se muestran en la siguiente tabla, donde  $R=K/\tau$ , la cual es la velocidad de reacción del controlador.

Tipo de Controlador	Ganancia Óptima
P	$K_p = \frac{1}{RL}$
PI	$K_p = \frac{0.9}{RL}, T_i = \frac{L}{0.3}$
PID	$K_p = \frac{1.2}{RL}, T_i = 2L,$ $T_D = 0.5L$

Tabla 2.1. Valores de sintonización Ziegler Nichols para un decaimiento de 0.25.

En el segundo método, los criterios para ajustar los parámetros del regulador están basados en la evaluación del sistema en el límite de estabilidad. La ganancia

proporcional se incrementa hasta que se observan oscilaciones continuas, o sea, hasta que el sistema llega a ser marginalmente estable. La ganancia correspondiente  $K_u$  (también llamada última ganancia) y el periodo de oscilación  $P_u$  (también llamado último periodo) se determinan de la siguiente manera: el periodo debería medirse cuando la amplitud de la oscilación es bastante pequeña. Entonces se retrocede desde esta ganancia, como se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de Controlador	Ganancia Óptima
P	$K_p = 0.5K_u$
PI	$K_p = 0.45K_u, T_i = \frac{1}{1.2} P_u$
PID	$K_p = 0.6K_u, T_i = \frac{1}{2} P_u, T_D = \frac{1}{8} P_u$

Tabla 2.2. Valores de sintonización Ziegler Nichols para una estabilidad límite.

La experiencia ha mostrado que los ajustes del controlador de acuerdo con las reglas de Ziegler y Nichols a menudo proporcionan una buena respuesta en lazo cerrado para muchos sistemas. La sintonía final del controlador puede realizarse manualmente por el operador del proceso para obtener el mejor control.

Con base en los conceptos vistos en este capítulo, detallaremos en el capítulo 3 cada uno de los procesos de la fabricación de papel, junto con una visión actual de la MAQ II.

<b>CAPÍTULO</b>
<b>III</b>

## ANÁLISIS PARA EL DISEÑO

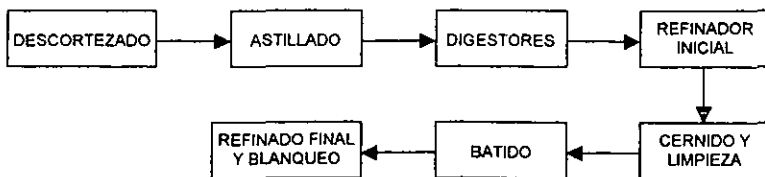
En este capítulo se determinarán los requerimientos necesarios para la automatización de la máquina "MAQ II". Los requerimientos se definirán en cada una de las secciones de la máquina, desde la sección de alimentación de pasta hasta el enrollador de la hoja de papel. Para llevar a cabo esto, efectuaremos un breve análisis de la pasta que será enviada a la máquina para la producción de la hoja de papel, así como también un análisis detallado de las condiciones de operación y funcionamiento de la máquina "MAQ II".

### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

El proceso de fabricación de papel abarca dos áreas, la primera es la preparación de la pasta y la segunda es la producción del papel. A continuación se presenta una descripción de las secciones que integran estas áreas..

#### 3.1.1. Preparación de pasta

La pasta es una suspensión acuosa que contiene pulpa de madera, merma recuperada, pulpas de diferentes plantas, y aditivos que ayudan al proceso como antiespumantes, pigmentos, rellenos, microbicidas, etc. El proceso para la preparación de la pasta requiere de varias etapas, como se muestra en la figura 3.1.



**Figura 3.1. Etapas del proceso para preparación de pasta.**

Considerando que la madera es la fuente preferida de fibras en la industria del papel, a continuación describimos el proceso para la preparación de la pasta.

- **Descortezado.** La corteza del árbol se considera contaminante ya que produce una pulpa sucia y débil, por esta razón es eliminada en los descortezadores. Hay básicamente dos tipos de descortezadores, los de tambor y los de anillo. Los descortezadores de tambor están formados por un tambor giratorio ligeramente inclinado, provocando que los troncos salten y rocen entre sí, quitándose la corteza por abrasión. En los del tipo de anillo, los troncos son descortezados individualmente, éstos se alimentan horizontalmente por el orificio de un anillo montado verticalmente, alrededor de la circunferencia interior del anillo se tienen una serie de rascadores, los cuales se mueven hacia adentro hasta tocar el tronco, eliminando la corteza por roce mecánico.
- **Astillado.** El astillador es un disco giratorio provisto de cuchillas situadas radialmente en su superficie. Las cuchillas cortan astillas, las que a continuación pasan por los agujeros del propio disco.
- **Digestores.** El digestor está formado por uno o varios tubos montados unos sobre otros, provistos con un transportador helicoidal que lleva las astillas de uno a otro de sus extremos. Las astillas son alimentadas y rociadas con licor de cocción, dispersado por medio de vapor, éstas se mueven yendo de cámara en cámara hasta ser descargadas del tubo final.
- **Refinador inicial.** El refinador desmenuza las astillas, transformándolas en fibras delgadas, al término de esta etapa se obtiene la pulpa. El tipo de refinador que se utiliza en esta etapa es de disco.
- **Limpieza y cernido.** Una vez obtenida la pulpa, ésta contiene pequeños mazos de fibra, rígidos y sin compresión, que afectan la suavidad de la hoja. Para su eliminación es necesario un proceso de cernido y otro de limpieza. En el cernido se elimina del 90 al 95% de fracciones. La limpieza se hace mediante limpiadores centrífugos, para eliminar las partículas cortas y gruesas.
- **Batido.** Es un tratamiento mecánico que se aplica a la pulpa en presencia de agua, haciéndola pasar por un espacio relativamente angosto, entre un rotor giratorio y uno estacionario, ambos con cuchillas alineadas. En esta sección se agregan los aditivos, para mejorar las propiedades físicas de la hoja terminada. Al finalizar esta etapa obtenemos la pasta.
- **Refinado final y blanqueo.** Para obtener una pasta más blanca, los dos métodos principales que se usan para blanqueo son: el reductor y el oxidante. Se pueden utilizar en forma separada ó combinados. Los agentes utilizados para el blanqueo reductor son: bisulfito, la ditionita y el bromohidruro. Los agentes para el blanqueo oxidante son: peróxido, hipoclorito, ácido peracético y ozono. El blanqueo se realiza

dentro de la etapa de refinación final. En esta etapa se utilizan refinadores del tipo Jordán.

Después del refinado final deberá determinarse la calidad de la pulpa utilizada en la producción del papel. Por lo general, las pruebas son comparativas, el procedimiento para probar comprende tres etapas que consisten en: preparación de la pasta, formación de la hoja y pruebas de las hojas formadas. Debe reconocerse que las condiciones de producción del papel varían tanto que ningún procedimiento de prueba en laboratorio puede reproducir todas las condiciones presentes en la máquina.

No obstante que los papeles se elaboran con materia prima similar, hay una diferencia considerable en sus propiedades dependiendo del tipo de papel.

### 3.1.2. Propiedades del papel

El papel es una estructura fibrosa y muchas de sus propiedades se basan en la constitución de la fibra de celulosa. El proceso de fabricación de papel está diseñado para tratar las fibras de la celulosa de tal manera que se destaquen las propiedades deseables, reduciendo al mínimo las propiedades indeseables. Por ejemplo, el encolado sirve para reducir la absorción de agua, los rellenadores aumentan la opacidad y lisura, los revestimientos se agregan para mejorar la calidad de impresión.

Las propiedades del papel pueden agruparse en seis categorías:

- **Físicas:** Peso base, calibre, densidad, porosidad, lisura, dureza, rigidez, estabilidad dimensional y ondulación.
- **De Resistencia:** Relación esfuerzo - tensión, explosión, rasgado, doblez, impacto y aplastamiento.
- **Ópticas:** Transmitancia y absorción de la luz, brillo, blancura, color y opacidad.
- **Químicas:** Contenido de celulosa alfa, cantidad de agentes encolantes, cenizas, humedad, acidez, pH y contenido de almidón.
- **Eléctricas:** Capacidad inductiva, resistencia dieléctrica y aislamiento.
- **Microscópicas:** Determinación del tipo de fibras usadas en el papel, análisis cualitativos, identificación de manchas y puntos.

Algunas de estas propiedades son manipuladas intencionalmente por el productor de papel; otras sufren variaciones inevitables. Ciertas propiedades son deseables en unos tipos de papeles y demasiado indeseables en otros.

El fabricante de papel dispone de varios métodos para cambiar las propiedades de acabado. Sin embargo estas propiedades están interrelacionadas y cuando se realiza un cambio para mejorar una propiedad con frecuencia se afecta otra, por esto es conveniente conseguir un término medio en el que la combinación de las distintas propiedades produzcan la mejor calidad de papel dependiendo del uso al que se le





la finalidad de ajustar la cantidad de pasta que debería contener la caja, realizando para ello una operación manual de la válvula que regula el suministro de la pasta.

La caja principal tiene un sistema capaz de regular la salida de la pasta, con el propósito de corregir el perfil de peso de la hoja, el cual consta de 13 válvulas surtidoras de pasta con una separación entre ellas de 25 cm, se encuentran ubicadas por encima de lo ancho de la mesa de formación, su accionamiento es manual. El procedimiento que se realiza para conseguir la corrección del perfil de peso en la hoja consiste en tomar una muestra a todo lo ancho de la hoja de papel ya terminada (que se encuentra en la sección de enrollado), llevarla al laboratorio y dividirla en 13 secciones numeradas del 1 al 13, se relaciona la posición con cada una de las válvulas surtidoras, se procede a pesar cada sección de papel y se determina la válvula que requiere de ajuste.

La mesa de formación cumple con la función de transportar la hoja que se está formando. Ésta tiene gran importancia, ya que la velocidad de sus rodillos sirve como referencia para coordinar cada una de las secciones de la máquina.

Actualmente la velocidad es controlada mediante una transmisión principal que la mantiene en un valor constante. Para sincronizar la velocidad en cada sección de la máquina se tiene un cono metálico con una banda montada sobre él que enlaza a la sección correspondiente mediante un arreglo de engranes. Cada cono está equipado de un mecanismo que controla la posición de la banda sobre éste, al modificar la posición de la banda se incrementa o se disminuye la velocidad. Cabe mencionar que el ángulo de inclinación de la superficie del cono es de 3 grados, la longitud del cono es de 1 m y el mecanismo que controla la posición de la banda le sirve de guía para compensar cualquier efecto secundario en cuanto al acoplamiento entre la banda y el cono. Como referencia los rangos de velocidad para la manufactura de diferentes tipos de papel determinados en base a la experiencia aparecen en la tabla 3.1.

Tipo de papel	Velocidad (m/seg.)
Cartón para recubrir	6.35 – 10.16
Recubierto para publicaciones	10.16 – 15.24
Papel periódico	11.18 – 16.26
Papel Higiénico	17.78 – 25.40

Tabla 3.1. Velocidades de la máquina para diferentes tipos de papel.

Se observa que a mayor calibre del papel elaborado es menor la velocidad y a mayor velocidad el calibre es menor.

Continuando con el proceso, los rodillos de prensado son accionados mediante un sistema hidráulico, a una presión constante, de acuerdo al tipo de papel que se esté fabricando. Uno de los rodillos se encuentra conectado a la transmisión principal, el otro gira por estar enlazado al primero mediante un filtro.

La presión de vapor aplicado en las secciones de secadores es controlada manualmente por medio de una válvula que permite el paso de vapor hacia cada uno de los cilindros. La decisión del ajuste de presión es tomada bajo la siguiente consideración: se obtiene una muestra de papel de cualquier sección de la hoja que está enrollándose, puesto que el sistema de secado es uniforme, se lleva al laboratorio, se pesa y se introduce en un horno para conseguir que se deshidrate, se saca y se vuelve a pesar y mediante una diferencia de pesos es posible determinar el porcentaje de humedad que contenía la hoja. De este modo se determina el ajuste de la válvula para incrementar o disminuir la presión de vapor.

La sección de calandreo cuenta con cuatro rodillos, y al igual que los rodillos de prensado son accionados por un sistema hidráulico a una presión constante, de acuerdo al tipo de papel que se esté fabricando. El rodillo de la parte inferior se encuentra enlazado a la transmisión principal, los demás rodillos giran por el efecto de fricción del papel que pasa a través de ellos. En esta sección se le da el acabado final al papel ya sea en una de sus caras o en ambas.

La última sección de la máquina es el enrollador, cuya velocidad es controlada mediante la transmisión principal, en esta sección se tiene ya la hoja de papel terminada la cual es enrollada. Los rollos de papel miden aproximadamente dos metros de diámetro.

Justamente en este punto de la producción es necesario conocer las propiedades del papel fabricado. Antes de poder realizar cualquier prueba se requiere obtener muestras que sean representativas del rollo de papel, para ello debe tomarse una tira de papel que represente todo el ancho de la máquina al final de cada rollo. Las pruebas efectuadas en varios puntos de la tira mostrarán las variaciones a lo ancho de la máquina; la prueba de tiras tomadas en intervalos regulares mostrará variaciones en dirección de la máquina. Este tipo de muestreo ofrece un promedio excelente de las pruebas correspondientes al lote de papel que se está produciendo, pero debido a que la hoja de papel puede ser muestreada únicamente cuando ha sido enrollada, esto impide efectuar una comprobación de los cambios rápidos que pueden ocurrir en la mitad de un rollo.

En las máquinas de movimiento lento, un supervisor experto de la misma puede retirar una muestra del reborde de la hoja a medida que ésta se enrolla, pero ésta técnica no puede utilizarse con las máquinas de alta velocidad. Por lo que podemos concluir que esta forma de muestreo requiere de un tiempo considerable para obtener los resultados de la prueba y realizar una acción de control en el proceso.

## 3.2. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS

El objetivo de esta sección es determinar los requerimientos para automatizar los procedimientos de operación y funcionamiento anteriormente descritos. Para ello es necesario considerar que mediante los departamentos de calidad, producción y mantenimiento se han establecido las siguientes especificaciones:

1. El rango de peso base para sus diferentes productos es de 20 a 200 g/m<sup>2</sup>.
2. El rango de humedad para sus diferentes productos es del 4% al 6%.
3. La consistencia de pasta en el tanque de pasta para sus diferentes productos se encuentra en el rango del 2% al 4%.
4. La válvula de pasta tiene un flujo de 0.1 hasta 1890 l/min.
5. El suministro de vapor tiene una presión de 12 kg/cm<sup>2</sup>.
6. La primera, segunda y tercera sección de secadores tienen un rango de presión de 0.1 hasta 3.50 kg/cm<sup>2</sup>.
7. La velocidad de la máquina puede variar desde 0 hasta 1000 m/min.
8. La velocidad del enrollador se encuentra en el rango de 0 hasta 1000 m/min.
9. El diseño de la máquina deberá conservarse.
10. Las variables del proceso a medir y controlar deberán ser las siguientes: consistencia, flujo de pasta, peso base, humedad, velocidad de la mesa de formación, velocidad de prensas, velocidad de la calandra, velocidad del enrollador y presión de vapor en la tercera sección de secadores.

La metodología de análisis para la determinación de requerimientos se basa en el procedimiento de operación manual descrito en la sección anterior, analizando cada una de las secciones en las que el operador aplicaba su experiencia para controlar el proceso.

### 3.2.1. Sección de alimentación de pasta

En esta sección es necesario obtener las mediciones de consistencia y del flujo de pasta. A continuación se detalla el análisis de cada parte, y la figura 3.3 nos servirá como referencia para la descripción.

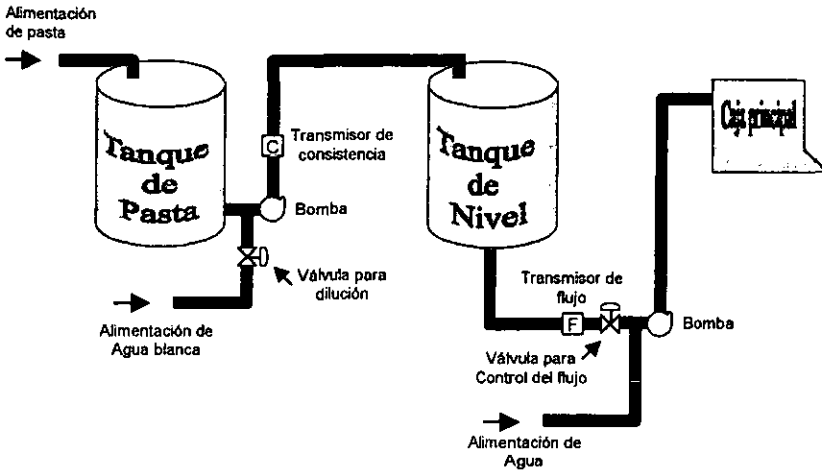


Figura 3.3. Requerimientos de la sección de pastas.

**Consistencia de pasta.** Para obtener la medición de la consistencia es necesario instalar un transmisor de consistencia en la tubería de salida del tanque de pasta, la tubería es de 4" de diámetro. El instrumento generalmente utiliza un sensor tipo paleta, siendo el recomendado para este tipo de aplicaciones. La válvula para la dilución de pasta estará instalada en la tubería de alimentación de agua blanca que tiene un diámetro de 6 pulgadas. Mediante una bomba centrífuga la pasta ya diluida es enviada hacia el tanque de nivel. La consistencia de la pasta en este punto debe encontrarse entre el 2 y 4%.

**Flujo de pasta.** Para obtener la medición de este parámetro es necesario instalar un transmisor de flujo de pasta en la tubería de salida del tanque de nivel, la tubería es de 4" de diámetro. El instrumento utiliza un sensor tipo magnético. También es necesario instalar una válvula para regular el flujo de pasta, la cual estará instalada en la misma tubería de 4 pulgadas. Esta tubería se une a otra tubería de 6" de diámetro que transporta agua y mediante una bomba centrífuga envía la pasta hacia la caja principal. En este momento la pasta tiene una consistencia aproximada del 0.5%.

Conforme a lo descrito anteriormente, en la tabla 3.2. presentamos la lista de requerimientos en la sección de alimentación de pasta.

1	<b>Transmisor de consistencia</b>	Rango de medición de 2% a 4% Sensor tipo Paleta
2	<b>Transmisor de flujo de pasta</b>	Rango de medición de 0 a 1890 lts/min Sensor tipo magnético Diámetro 4"
3	<b>Válvula para dilución</b>	Tipo cuchilla Diámetro 6"
4	<b>Válvula para flujo de pasta</b>	Tipo en V De precisión Diámetro 4"

Tabla 3.2. Lista de requerimientos de la sección de alimentación de pasta.

### 3.2.2. Sección de la caja principal

En esta sección será conveniente cambiar las 13 válvulas de accionamiento manual, que se encuentran instaladas a lo ancho de la salida de la caja principal, por un sistema actuador neumático, con transductor del tipo LVDT (Linear Variable Diferencial Transformer), los cuales determinarán la posición de la apertura de cada válvula. En la figura No 3.4 se muestra la ubicación de este sistema.

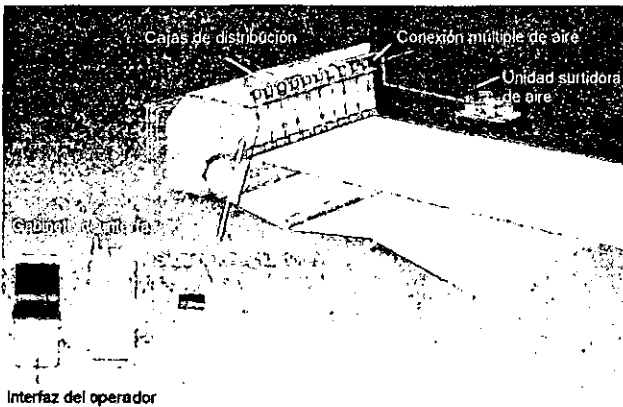


Figura 3.4. Requerimientos a la salida de la caja principal.

Los requerimientos en la caja principal se presentan en la siguiente tabla.

1	<b>13 Actuadores neumáticos</b>	Con transductores tipo LVDT
2	<b>Estación de interfaz</b>	Con un medio de comunicación tipo serie

Tabla 3.3. Lista de requerimientos de la caja principal.

### 3.2.3. Sección de la mesa de formación

En esta sección se realizará la medición de la velocidad en el rodillo cabezal de succión, cumpliendo con las especificaciones ya indicadas. Para ello será necesario acoplar un tacómetro unidireccional, debiendo cubrir un rango de 0 a 1000 m/min. En la figura 3.5 se muestra la posición del tacómetro.

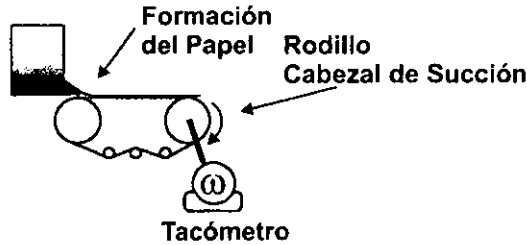


Figura 3.5. Requerimiento en la mesa de formación.

El requerimiento de la mesa de formación se presenta en tabla 3.4.

1	Tacómetro	Unidireccional
---	-----------	----------------

Tabla 3.4. Requerimiento de la mesa de formación.

### 3.2.4. Sección de prensas

En esta sección se realizará la medición de la velocidad en uno de los rodillos de prensas. Para ello será necesario acoplar un tacómetro unidireccional, debiendo cubrir un rango de 0 a 1000 m/min. En la figura 3.6 se muestra la posición del tacómetro.

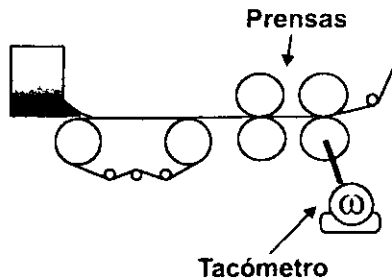


Figura 3.6. Requerimiento en la sección de prensas.

El requerimiento de la sección de prensas se presenta en la tabla 3.5.

1	<b>Tacómetro</b>	Unidireccional
---	------------------	----------------

Tabla 3.5. Requerimiento de la sección de prensas.

### 3.2.5. Sección de secadores

En esta sección se realizará la medición de la presión de vapor suministrada a los cilindros secadores, para ello es necesario un transmisor de presión que cubra el rango de 0.1 a 3.5 kg/cm<sup>2</sup>. El transmisor de presión será instalado en una tubería de 4 pulgadas de diámetro, al igual que una válvula que controle el flujo de vapor. Cabe mencionar que el control de presión se realizará únicamente en la tercera sección de secadores. En la figura 3.7 se muestra la ubicación de la válvula de control de vapor y del transmisor de presión.

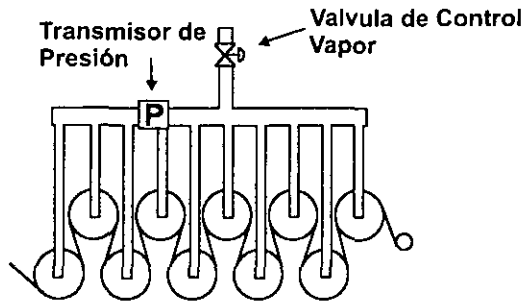


Figura 3.7. Requerimientos en la tercera sección de secadores.

Los requerimientos de la tercera sección de secadores se listan en la tabla 3.6.

1	<b>Transmisor de presión</b>	Rango de medición de 0.1 a 3.5 kg/cm <sup>2</sup>
2	<b>Válvula para presión de vapor</b>	Tipo estrangulamiento Diámetro 4"

Tabla 3.6. Lista de requerimientos en la tercera sección de secadores.

### 3.2.6. Sección de calandra y enrollador

En estas secciones se realizarán las mediciones de velocidad en uno de los rodillos de calandreo y en el rodillo del enrollador. Para ello será necesario acoplar un



tacómetro unidireccional por cada sección, debiendo cubrir un rango de 0 a 1000 m/min. En la figura 3.8 se muestra la posición de los tacómetros.

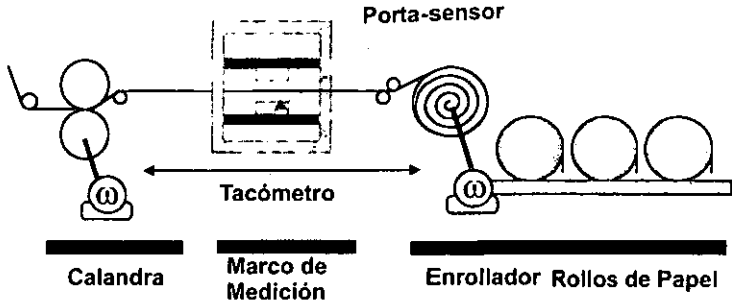


Figura 3.8. Requerimientos en la sección de calandreo y enrollador.

Entre estas dos secciones es necesario monitorear las características de peso y humedad a lo ancho de la hoja, para ello se instalará la estructura mostrada en la figura 3.9 llamada marco de medición, en donde se observa que se compone de un soporte metálico en forma de marco y dos carros para transportar los sensores a lo ancho de la hoja.

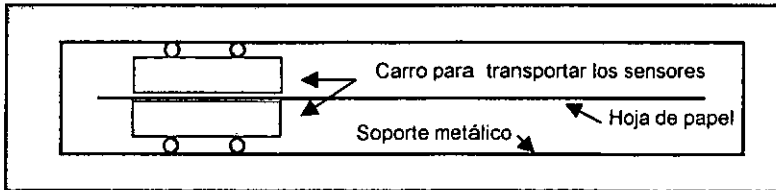


Figura 3.9. Marco de medición.

Los requerimientos de las secciones de calandra y enrollador se muestran en la tabla 3.7.

1	<b>Dos Tacómetros</b>	Unidireccionales
2	<b>Un marco de medición</b>	Con dos porta sensores
3	<b>Un sensor de peso</b>	Rango de medición de 20 hasta 200 g/m <sup>2</sup>
4	<b>Un sensor de humedad</b>	Rango de medición de 0 al 20%

Tabla 3.7. Lista de requerimientos en las secciones de calandra y enrollador.

### 3.2.7. Arquitectura del Sistema de Control

Para cumplir el objetivo de automatización es necesario un sistema de control que sea apto para recibir las señales provenientes de los instrumentos, acondicionarlas, almacenarlas, organizarlas y programar una secuencia de acciones que nos permita manipular las variables del proceso. Para ello requerimos conformar una estructura como la mostrada en la figura 3.10.

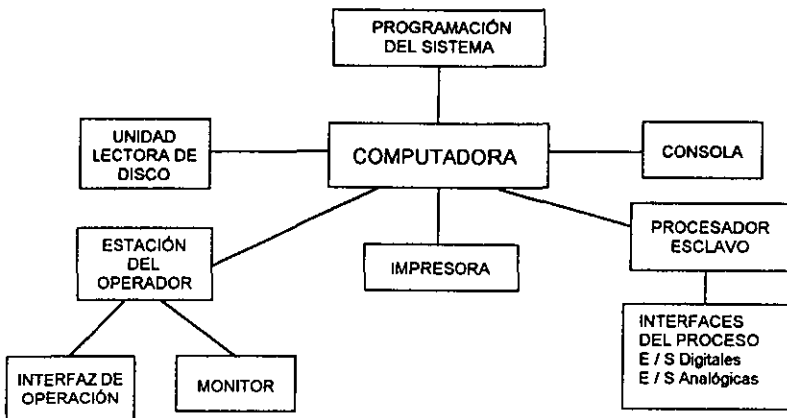


Figura 3.10. Requerimientos del sistema de control.

La estructura del sistema de control que manipulará las variables del proceso deberá constar de una computadora, un procesador esclavo, una estación del operador y los periféricos necesarios para acceder, imprimir y graficar las variables del proceso. Además deberá contener la programación necesaria para establecer la comunicación y control entre cada uno de los elementos que lo conforman. La computadora estará destinada al control general del proceso, el procesador hará tareas específicas y se encargará de procesar todas las señales provenientes de los instrumentos, la estación del operador permitirá monitorear y controlar el proceso desde un lugar remoto.

La lista de los elementos que conformarán el sistema de control se muestran en la tabla 3.8.

<b>1</b>	<b><i>Computadora</i></b>
<b>2</b>	<b><i>Un procesador esclavo</i></b>
<b>3</b>	<b><i>Estación del operador</i></b>

Tabla 3.8. Requerimientos del Sistema de Control. (Continúa)

<b>4</b>	<b><i>Interfaces para la operación del proceso</i></b>
<b>5</b>	<b><i>Elementos básicos (unidad lectora de discos, memoria, impresora, etc)</i></b>
<b>6</b>	<b><i>Programación del sistema</i></b>

Tabla 3.8. Requerimientos del Sistema de Control.

**3.2.8. Sistema de adquisición de datos**

La función del sistema de adquisición de datos será recopilar y registrar las señales provenientes de los instrumentos y adecuarlas para sus procesamiento y/o presentación. El sistema de adquisición de datos deberá contener los siguientes módulos:

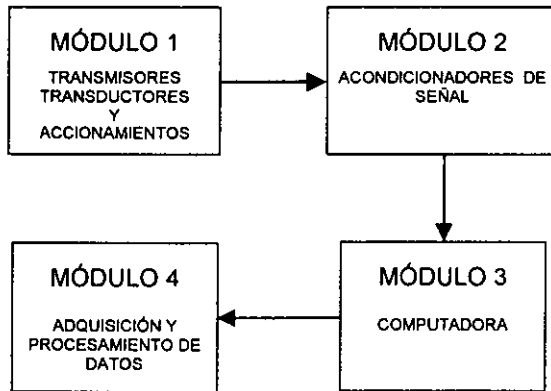


Figura 3.11. Diagrama del sistema de adquisición de datos.

Una vez que se han definido los requerimientos del sistema, procederemos a realizar el diseño del mismo, especificando las características de los elementos a seleccionar en cada sección de la máquina.

<b>CAPÍTULO</b>
-----------------

<b>IV</b>
-----------

## **DISEÑO DEL SISTEMA**

En el presente capítulo desarrollamos el diseño del sistema. Este diseño se logra con base en la información recabada, lo que nos permite llevar a cabo un diseño integral del sistema.

Iniciaremos este capítulo con la definición de dos términos que nos ayudarán a comprender la conformación del sistema.

***HARDWARE:*** Son todos los elementos físicos que integran el sistema.

***SOFTWARE:*** Son todos los elementos lógicos que permiten que el *hardware* funcione.

### **4.1. DISEÑO DEL *HARDWARE***

Para el diseño del sistema es necesario especificar técnicamente las variables que lo componen, interrelacionándolas de tal forma que nos permitan una instalación adecuada de los elementos. Para ello es indispensable tomar las siguientes consideraciones:

- Definición clara de las variables por controlar y monitorear.
- Selección de los elementos de medición y control, considerando sus características físicas y de operación.

Retomando las especificaciones que la Fábrica de papel Los Reyes mediante sus distintos departamentos, ha marcado y con la determinación de requerimientos realizada en el capítulo 3, iniciaremos el diseño del sistema.

Las variables del proceso a medir y controlar deberán ser las siguientes: consistencia, flujo de pasta, peso base, humedad, velocidad de la mesa de formación, velocidad de las secciones de prensas, la calandra y del enrollador.

#### 4.1.1. Selección del equipo

Para hacer la selección de cada uno de los elementos que conformarán el diseño del sistema nos basamos en los requerimientos determinados en el capítulo anterior y así definir las características específicas del equipo a instalar. Para ello se consultaron varios proveedores elaborando una tabla comparativa por cada elemento y poder elegir aquel que reúna las características y condiciones óptimas para nuestro diseño. A continuación se presentan cada una de las tablas elaboradas.

#### a) Sección de alimentación de pasta

##### 1. Transmisor de consistencia

Características generales:

Sensor tipo paleta.

Rango de medición requerido de 2% a 4 % Cs (consistencia).

Velocidad promedio de la pasta de 3.88 m/s.

Sensibilidad de +/- 0.5%.

En la tabla 4.1 se presentan los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FÁBRICA DE PAPEL LOS REYES				
TRANSMISOR DE CONSISTENCIA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Transmisor de consistencia con sensor tipo paleta	Dezurik	Valmet	Foxboro
RANGO DE MEDICIÓN		1.5 hasta 6% Cs	0.7 hasta 16% Cs	1.8 hasta 7.5% Cs
SENSIBILIDAD		+/- 1%	+/- 0.5 %	+/- 1%
VELOCIDAD PERMISIBLE DE LA PASTA		0.1m/s hasta 3 m/s	0.4m/s hasta 8 m/s	0.4m/s hasta 4 m/s
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$112,100.00	\$109,250.00	\$104,500.00

Tabla 4.1. Tabla comparativa del transmisor de consistencia. (Continúa)

TIEMPO DE ENTREGA	3 semanas	2 semanas	3 semanas
FLETE	Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA	1 año	1 año	1 año
ASISTENCIA TÉCNICA	A través del representante	Directamente de fábrica	Directamente de fábrica

Tabla 4.1. Tabla comparativa del transmisor de consistencia.

El transmisor de consistencia elegido es de la marca Valmet, esta decisión se hizo tomando en cuenta que el rango de medición es más amplio y la sensibilidad es mayor; respecto a la velocidad promedio de la pasta, 3.88 m/s, el proveedor Dezurik no entra en el rango y el proveedor Foxboro estaría en el límite. Además nos ofrecen una asistencia técnica directa de fábrica, lo cual nos garantiza cualquier eventualidad durante su instalación. En la figura 4.1 se muestra el transmisor de consistencia seleccionado junto con sus especificaciones técnicas.

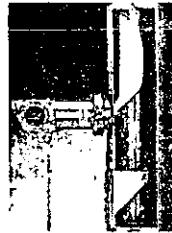


Figura 4.1. Transmisor de Consistencia marca Valmet.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

**Consistency range:** 0.7 to 16% Cs. (Depends on pulp type, refer to application information)

**Span:** 0.8% Cs, max 30 N-zero elevation

**Zero elevation:** Max: 30 N-span

**Damping:** 2 to 60 s.

Damping set at factory: 20s for HL and 2s for other sensors.

**Permissible velocity of flow (m/s):** min/max

- SMART-PULP UL                    0.1/2-3
- SMART-PULP HL                    0.4/8
- SMART-PULP WS                    0.4/4

Refer to application information program for detailed specification of permissible velocities on the basis of consistency and pulp type.

**Output signal:** Two-wire option (2-W): 4-20 mA + HART

**Power supply:** 20 to 35 VDC.

**Process pressure:** max. 25 bar.

**Environmental conditions:**

- Ambient: -20 to 60°C, 0-100% RH (no condense water)
- Process: 0°C to 120°C

- Storage: -50°C to 80°C

**PERFORMANCE SPECIFICATIONS**

Force measurement's linearity: +/-0.5% of span

Hysteresis: 0.025 N

Repeatability: 0.01 N

Static pressure effect: 0.02 N per 1 bar

Process temperature effect: 1% of reading per 10°C

Vibration effect: 2g per 10-2000 Hz: < +0.03N

**2. Válvula de dilución**

Características generales:

Tipo compuerta de cuchilla con accionamiento eléctrico.

Diámetro de 6 pulgadas.

Presión promedio de la pasta de 120 psi.

En la tabla 4.2 se presentan los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
VÁLVULA DE DILUCIÓN				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Válvula tipo compuerta de cuchilla con accionamiento eléctrico Diámetro de 6 pulgadas	Dezurik	Fisher	Foxboro
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN		-100°C hasta 537°C	-73°C hasta 268°C	-29°C hasta 240°C
PRESIÓN A TRAVÉS DE LA VÁLVULA		Hasta 150 psi	Hasta 125 psi	Hasta 125 psi
VOLTAJE PARA EL ACCIONAMIENTO		220 o 440 ac	220 o 440 ac	220 o 440 ac
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$46,500.00	\$48,000.00	\$52,900.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	2 semanas	3 semanas
FLETE		Puesta en planta	Puesta en planta	Puesta en planta
GARANTÍA		1 año	6 meses	1 año
SERVICIO TÉCNICO		Directo de fábrica	A través del representante	Directo de fábrica

Tabla 4.2. Tabla comparativa de la válvula de dilución.

La válvula elegida es de la marca Dezurik, debido a que la planta nos ha sugerido utilizar esta marca por la experiencia en su uso y larga duración. En la tabla comparativa puede observarse que el rango de temperatura de operación es mayor y esto nos asegura el funcionamiento óptimo; la presión promedio es de 120 psi, por lo que los otros proveedores quedarían en el límite. La figura 4.2 muestra la válvula con su accionamiento incluido y a continuación se presentan las especificaciones técnicas de la válvula y de su accionamiento.

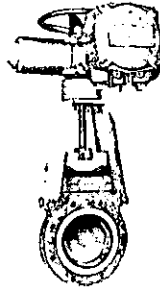


Figura 4.2. Válvula de cuchilla con accionamiento eléctrico marca Dezurik.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA VÁLVULA

**Design Features:** Corrosion resistant cast body, raised face seat for positive seating, welded-in gate guides and jams.

**Size Range:** 2" to 24".

**Temperature Range:** -150°F to + 1000°F.  
(-100°C to +537°C)

**Pressure Rating:** 150 psi

**Body Material:** 304, 316 and 317 stainless steel; Alloy B, C and 20.

**Valve Style:** Knife gate, wafer, short pattern or standard face-to-face.

**Actuator Type:** Electric Motor.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACCIONAMIENTO

**Electric Motor**

### SPECIFICATIONS

**Models**

**Duration Pulse Control- Synchronous Motor**

**Output:** Constant speed motor in either direction with AC line power for a predetermined period of time.

**Analog – Synchronous Motor**

**Output:** Electric analog control 4-20 mA.

**Digital Control – Stepping Motor**

**Output:** Motor advances 1.8° per pulse or 200 pulses per revolution.

**Includes:** Integral reversing contactor.



Remote/local selector switch. Integral push button station.

**Optional:** 190 to 220 / 50 / 3 a.c.

380 to 440 / 50 / 3 a.c.

**Electric Characteristics**

500 / 50 / 3 a.c.

220 / 60 / 3 a.c.

**Standard:** Dual Voltage 220 or 440 volts / 60 hertz / 3 phase a.c.

**3. Transmisor de flujo**

Características generales:

Tipo Transmisor de flujo magnético.

Rango de medición requerido de 1 a 31.5 lts/s.

Diámetro de 4 pulgadas.

Sensibilidad de +/- 0.5%.

En la tabla 4.3 se presentan los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
TRANSMISOR DE FLUJO				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Transmisor de flujo magnético Diámetro de 4 pulgadas	Foxboro	Fisher	Rosemount
RANGO DEL FLUJO DE PASTA		2.5 lts/s hasta 52 lts/s	0 hasta 30 lts/s	1 lts/s hasta 10 lts/s
SENSIBILIDAD		+/- 0.5 %	+/- 1 %	+/- 1 %
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$19,950.00	\$21,850.00	\$18,050.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	4 semanas	2 semanas
FLETE		Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	6 meses
SERVICIO TÉCNICO		Directo de fábrica	A través del representante	Directo de fábrica

Tabla 4.3. Tabla comparativa del Transmisor de flujo.

De las tres opciones se seleccionó al proveedor Foxboro, porque la velocidad del flujo de pasta requerido se encuentra dentro del rango de medición, también por su sensibilidad, y su diseño minimiza la pérdida de presión del fluido. Además nos ofrecen una asistencia técnica continua durante la instalación del equipo según las necesidades. La figura 4.3 muestra el transmisor de flujo magnético elegido y posteriormente sus especificaciones técnicas.

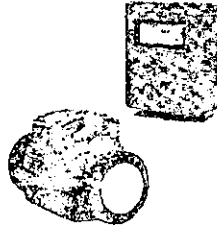


Figura 4.3. Transmisor de flujo magnético marca Foxboro.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

#### Flow Rates

2.5 L/s min, 52 L/s max.

#### Minimum Conductivity of Process Fluid

5 micromho/cm (500 microS/m)

#### Ambient Temperature Limits

Flowtube: - 30°C and + 60°C (-20°F and +140°F)

Transmitter: -30°C and +70°C (-25°F and +160°F)

#### Output Load Limits

4 to 20 mA - 0 and 1000 ohms

### PERFORMANCE SPECIFICATIONS

#### Accuracy

+/- 0.5% of flow rate for flow velocities greater than 0.1 m/s

+/- 0.5% of the 0.1 m/s flow rate for flow velocities less than 0.1 m/s

#### Supply Voltage and Frequency

120 V, 50/60 Hz

220 V, 50/60 Hz

240 V, 50/60 Hz

## 4. Válvula de flujo de pasta

Características generales:

Tipo V-port de precisión con accionamiento eléctrico.

Diámetro de 4 pulgadas.

Presión promedio de la pasta de 200 psi.

En la tabla 4.4 se presentan los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
VÁLVULA DE FLUJO DE PASTA				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Válvula tipo V-port de precisión con accionamiento eléctrico Diámetro de 4 pulgadas	Dezurik	Valmet	Fisher
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN		0°C hasta 150°C	4°C hasta 49°C	-7°C hasta 49°C
PRESIÓN A TRAVÉS DE LA VÁLVULA		Hasta 450 psi	Hasta 200 psi	Hasta 180 psi
VOLTAJE PARA EL ACCIONAMIENTO		220 o 440 ac	220 o 440 ac	220 o 440 ac
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$173,275.00	\$196,000.00	\$195,800.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	3 semanas	2 semanas
FLETE		Puesta en planta	Puesta en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	6 meses
SERVICIO TÉCNICO		Directo de fábrica	Directo de fábrica	A través del representante

Tabla 4.4. Tabla comparativa de la válvula de flujo de pasta.

Como se comentó anteriormente, por petición directa de la planta se nos sugiere el uso de la marca Dezurik, debido a esto todas las válvulas requeridas serán de esta marca. En la tabla se observa que la válvula seleccionada tiene varias ventajas sobre las otras en cuanto al rango de temperatura de operación y la presión a través de la misma, la presión promedio del proceso en este punto es de 200 psi. La figura 4.4 muestra la válvula de flujo de pasta y a continuación se dan las especificaciones técnicas de la válvula y de su accionamiento.

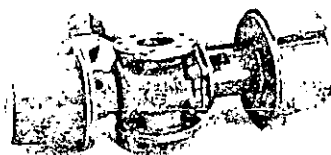


Figura 4.4. Válvula de flujo de pasta marca Dezurik.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA VÁLVULA

**Design Features:** Unmatched positioning capability with a minimum of 2000 repeatable positions, total electric operation, backlash is essentially zero.

**Size Range:** 4" to 20".

**Temperature Range:** +32° to +300°F (0°C to 150°C)

**Pressure Rating:** 125 psi to 450 psi.

**Body Material:** 316 stainless steel

**ANSI Class Rating:** 125, 150

**Valve Style:** V-Port concentric or straight concentric plug, flanged

**Actuator Type:** Electric Motor.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACCIONAMIENTO

### Electric Motor

#### SPECIFICATIONS

##### Models

**Duration Pulse Control- Synchronous Motor**

**Output:** Constant speed motor in either direction with AC line power for a predetermined period of time.

**Analog – Synchronous Motor**

**Output:** Electric analog control 4-20 mA.

**Digital Control – Stepping Motor**

**Output:** Motor advances 1 8° per pulse or 200 pulses per revolution.

**Includes:** Integral reversing contactor. Remote/local selector switch. Integral push button station.

#### Electric Characteristics

**Standard:** Dual Voltage 220 or 440 volts / 60 hertz / 3 phase a.c.

**Optional:** 190 to 220 / 50 / 3 a.c.

380 to 440 / 50 / 3 a.c.

500 / 50 / 3 a.c.                      220 / 60 / 3 a.c

### b) Sección de la mesa de formación

#### 5. Actuadores neumáticos del distribuidor de flujo

Características generales:

Actuador de precisión.

Tipo de accionamiento neumático.

En la tabla 4.5 se muestran los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
ACTUADOR NEUMÁTICO DEL DISTRIBUIDOR DE FLUJO				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
13	Actuador de precisión de accionamiento neumático con transductor LVDT Con estación controladora	Measurex	Accuray	Eurotherm
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN		-7°C hasta 60°C	-7°C hasta 65°C	4°C hasta 70°C
RESOLUCIÓN		5 mm en cada posición	2.54 mm en cada posición	7.5 mm en cada posición
VELOCIDAD DE RESPUESTA		50 micron/s	31 micron/s	40 micron/s
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$152,000.00	\$142,500.00	\$133,000.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	2 semanas	4 semanas
FLETE		Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO		Por medio del representante	Directo de fábrica	Por medio del representante

Tabla 4.5. Tabla comparativa de los actuadores neumáticos del distribuidor de flujo.

Los actuadores neumáticos del distribuidor de flujo a la salida de la caja principal seleccionados son de la marca Accuray, porque nos da una mayor resolución en su movimiento, permitiendo tener 1296 posiciones, además que su velocidad de respuesta es mayor. La figura 4.5 muestra el actuador neumático del distribuidor de flujo (*linear stepper*) elegido y sus respectivas especificaciones técnicas.

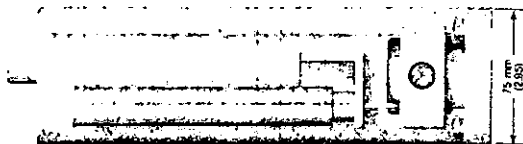


Figura 4.5. Actuador neumático del distribuidor de flujo marca Accuray.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Dimensions**

Standard spacing: 75 mm minimum (2.95 inches)

Height: 290 mm (11 3/8 inches)

Service height: 330 mm (13 inches)

**Stroke**

13 mm (0.5 inches)

**Force**

Over 18,000 N (4,000 lbs.)

**Resolution**

1.96 microns (0.007 mils)

**Rate of Response**

Over 31 micron/sec. (1.23 mils/sec.)

**Air Consumption**

(At full power output)

0.5 L/sec. (1 SCFM) per Actuator Provided by Air Supply Unit included in Package

**Operating Temperature**

20°F to 150° F (-7°C to 65°C)

**Electronics**

Solenoids: 380 ma at 24 VDC

LVDT: 24 VDC

**Weight**

8.2 kg (18 lbs.) per actuator

**Material**

All external components, 316 stainless steel

**6. Medidor de velocidad**

Características generales:

Tacómetro unidireccional.

Rango de medición requerido de 0 hasta 1000 m/min (0 a 398 rpm).

En la tabla 4.6 se muestran los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
MEDIDOR DE VELOCIDAD				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
3	Tacómetro unidireccional con encoder magnético	Foxboro	Dynapar	Valmet
TORQUE TÍPICO DE INICIO		15 oz-in	15 oz-in	15 oz-in
RANGO DE MEDICIÓN		Hasta 5000 rpm	Hasta 4000 rpm	Hasta 5000 rpm
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN		hasta 77°C	hasta 77°C	hasta 60°C

Tabla 4.6. Tabla comparativa de medidor de velocidad. (Continúa)

PRECIO UNITARIO (moneda nacional)	\$40,000.00	\$37,080.00	\$45,375.00
TIEMPO DE ENTREGA	3 semanas	2 semanas	3 semanas
FLETE	Puesto en planta	Puesto en planta	Puesta en planta
GARANTÍA	1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO	Directo de fábrica	Directo de fábrica	Por medio del representante

Tabla 4.6. Tabla comparativa de medidor de velocidad.

El tacómetro seleccionado es de la marca Dynapar, porque el rango de medición es adecuado, adicionalmente en el precio nos ofrecieron un descuento porque requerimos de cuatro dispositivos con las mismas características. La figura 4.6 muestra el tacómetro elegido y sus especificaciones técnicas. Cabe mencionar que cada uno de ellos se utilizarán en la mesa de formación, en las prensas, en la calandra y en el enrollador.



Figura 4.6. Tacómetro marca Dynapar.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**ELECTRICAL**

(Magneto-Resistive Units)

**Output:** Squarewave

**Output Type:** Open Collector NPN w/2k pullup; 25 mA Sink/0.8 mA source at 3.5 Volt output.

**Output Frequency:** 10 kHz max.

**Input Power:** 4.5 to 15 VDC.

**Current:** 15 mA plus load.

**MECHANICAL & ENVIRONMENTAL**

**Speed Range:** Up to 4000 RPM max.

**Bearings:** Lifetime lubricated ball bearings.

**Operating Temperature:** +32°F to +170°F (0°C to 77°C).

**Housing:** Cast aluminum standard (Optional cast iron available; consult factory).

**Shaft:** Stainless steel, 5/8" dia.

**Weight:** 8 lbs.

**Starting Torque:** 15 oz-in.

**Running Torque:** 9 oz-in

**Inertia:** 15,000 gram cm<sup>2</sup>

**Radial Load:** 45 pounds overhung

**Axial Load:** 15 pounds

**c) Sección de secadores**

**7. Transmisor de presión**

Características generales:

Transmisor de presión de diafragma.

Rango de medición requerido de 1.5 psi hasta 52.5 psi (0.1 kg/cm<sup>2</sup> hasta 3.5 kg/cm<sup>2</sup>).

Sensibilidad de +/- 0.20%.

En la tabla 4.7 se muestran los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
TRANSMISOR DE PRESIÓN				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Transmisor de presión de diafragma	Fisher	Foxboro	Valmet
RANGO DE MEDICIÓN		-15 hasta 50 psi	-15 hasta 150 psi	-15 hasta 50 psi
SENSIBILIDAD		+/- 0.5%	+/- 0.20%	+/- 0.5%
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN		-29 hasta 104°C	-40 hasta +120°C	-20 hasta 80°C
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$8,550.00	\$9,500.00	\$11,400.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	3semanas	2 semanas
FLETE		Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO		Por medio del representante	Directo de fábrica	Por medio del representante

**Tabla 4.7. Tabla comparativa del transmisor de presión.**

De las opciones presentadas se prefirió al proveedor de la marca Foxboro, debido a que el rango de medición es el más próximo a lo requerido, ya que los otros proveedores quedan fuera del rango especificado. Su rango de temperatura de operación también es amplio, además su sensibilidad es mayor. La figura 4.7 muestra el transmisor de presión elegido y sus respectivas especificaciones técnicas.



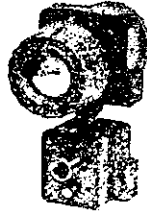


Figura 4.7. Transmisor de presión marca Foxboro.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

#### Span Limits

30 & 150 psi (2.1 & 10.5 kg/cm<sup>2</sup>)

#### Range Limits

-15 & +150 psi (-1 & 10.5 kg/cm<sup>2</sup>)

#### Maximum Overrange Pressure Limit

225 psi (15 kg/cm<sup>2</sup>)

#### Sensor Temperature Limits

Silicone: -40°C and +120°C (-40°F and +250°F)

Fluorinert: -18°C and +80°C (0°F and 180°F)

#### Ambient Temperature Limits

-40°C and + 80°C (-40°F and +180°F)

### Power requirements

**Voltage:** Requires external power for operation

12.5 V dc minimum, 65 V dc maximum

**Current:** 22 mA minimum

### Output Signal

4 to 20 mA dc

### Allowable Loop Load

0 to 875 ohms

### PERFORMANCE SPECIFICATIONS

#### Accuracy

Output Signal: +/- 0.20 % of calibrated span

The air connections on the pressed steel diaphragm case are ¼" or ½" NPT

## 8. Válvula para regular el paso de vapor

Características generales:

Tipo de globo de estrangulamiento con accionamiento de diafragma.

Diámetro de 4 pulgadas.

Rango de presión del vapor de 1.5 psi hasta 52.5 psi.

En la tabla 4.8 se muestran los datos comparativos de tres distintos proveedores.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
VÁLVULA REGULADORA DE VAPOR				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Válvula de paso de vapor de estrangulamiento con accionamiento de diafragma Diámetro de 4 pulgadas	Dezurik	Valmet	Fisher
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN		-100°C hasta 537°C	-73 °C hasta 268°C	-29°C hasta 240°C
PRESIÓN A TRAVÉS DE LA VÁLVULA		hasta 125 psi	hasta 100 psi	hasta 150psi
PRESIÓN DE AJRE REQUERIDA PARA ACCIONAR EL DIAFRAGMA		de 6psi hasta 30 psi	de 3psi hasta 15 psi	de 20psi hasta 35psi
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$96,400.00	\$95,900.00	\$96,300.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	3 semanas	2 semanas
FLETE		Puesta en planta	Puesta en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO		Directo de fábrica	Por medio del representante	Directo de fábrica

Tabla 4.8. Tabla comparativa de la válvula para regular el paso de vapor.

Como anteriormente se comentó, la marca elegida para homogenizar el proveedor de las válvulas es la marca Dezurik. En la tabla se observa que el rango de temperatura de operación es el mayor que las otras válvulas y el rango de la presión del flujo de vapor se encuentra dentro del límite requerido. La figura 4.8 muestra la válvula para el paso de vapor que incluye su accionamiento de tipo de diafragma y posteriormente se dan sus especificaciones técnicas.



Figura 4.8. Válvula reguladora de vapor marca Dezurik.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Design Features

Balanced construction, massive guide system, noise and anti-cavitation trim

### Size Range

1" to 8"

### Temperature Range

-150°F to +1000°F (-100°C to 537°C)

### Body Material

Cast iron, carbon steel, 316 stainless steel, C-5 chrome moly

### ANSI Class Rating

125 to 2500

### Valve Style

Cage guided globe with balanced or unbalanced plug

### Trim Materials

**Plug:** 416 stainless steel, 316 stainless steel, 316 stainless steel with Stellite overlay, Stellite

**Cage:** 17-4 PH stainless steel, chrome plated 316 stainless steel, Stellite

**Seat Ring:** 416 stainless steel, 316 stainless steel, 316 stainless steel with Stellite overlay, Stellite

### Actuator Type

Direct or reverse acting spring type diaphragm. The air connections on the pressed steel diaphragm case are ¼" or ½" NPT.

## d) Secciones de calandra y enrollador

### 9. Sensor de peso

Características generales:

Sensor de radiación.

Rango de medición requerido de 20 hasta 200 g/m<sup>2</sup>.

Resolución de 0.1%.

En la tabla 4.9 se muestran las diferentes opciones para su elección.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
SENSOR DE PESO				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No. 3
1	Sensor de peso	Accuray	Measurex	Eurotherm

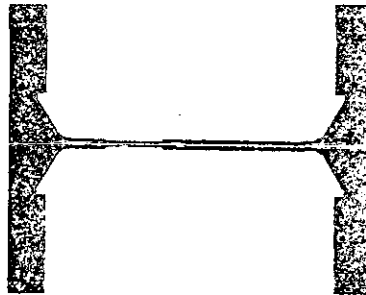
Tabla 4.9. Tabla comparativa del sensor de peso. (Continúa)

RANGO DE MEDICIÓN	15g/cm <sup>2</sup> hasta 800g/cm <sup>2</sup>	5g/cm <sup>2</sup> hasta 180g/cm <sup>2</sup>	8g/cm <sup>2</sup> hasta 1050g/cm <sup>2</sup>
ÁREA EFECTIVA DE MEDICIÓN	25 mm	20 mm	15 mm
RESOLUCIÓN	< 0.1 %	0.25 %	0.1 %
TIEMPO DE ENTREGA	3 semanas	6 semanas	4 semanas
FLETE	Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA	1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO	Directa de fábrica	Por medio del representante	Por medio del representante

**Nota:** El costo del sensor de peso no se especifica en esta tabla debido a que se encuentra incluido en el precio de la computadora de proceso.

**Tabla 4.9.** Tabla comparativa del sensor de peso.

Analizando las tres opciones se seleccionó al proveedor de la marca Accuray, porque su rango de medición es adecuado para el rango que se necesita en la planta, su resolución es menor, el área de medición es mayor y además nos ofrecen asesoría técnica gratuita al momento de la instalación. La figura 4.9 muestra el sensor de peso base elegido y sus especificaciones técnicas.



**Figura 4.9.** Sensor de peso marca Accuray.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

<b>Measurement range</b>	15-800 g/cm <sup>2</sup>	<b>Source</b>	250-1000 mCi Kr-85
<b>Air gap</b>	13 mm	<b>Detector</b>	Custom
<b>Effective measuring area</b>	25 mm	<b>Ionization Chambers</b>	

**Stability**

Less than +/- 0.05% of zero basis weight signal

**Resolution**

Less than 0.1% of weight over entire measurement range with one second averaging. Typically 0.1% of weight per individual 0.125 second reading.

**Repeatability**

+/- 0.2% (2 sigma) of weight output or 0.016 g/m<sup>2</sup>, whichever is greater, on standard reference samples (stable samples of uniform basis weight or uniformly "stirred").

**Accuracy**

+/- 0.25% (2 sigma) of basis weight or 0.02 g/m<sup>2</sup>, whichever is greater. This assumes sampling errors and laboratory processing errors are negligible.

**10. Sensor de humedad**

Características generales:

Sensor de rayos infrarrojos.

Rango de medición requerido de 0 hasta 20% de humedad.

Resolución de 0.1%.

En la tabla 4.10 se muestran las diferentes opciones para su selección.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
SENSOR DE HUMEDAD				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Sensor de rayos infrarrojos Rango de medición de 0 hasta 20% de humedad	Accuray	Measurex	Eurotherm
RANGO DE MEDICIÓN		0% hasta 20%	0% hasta 50%	0% hasta 40%
RESOLUCIÓN		0.1%	0.2%	0.1%
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	6 semanas	4 semanas
FLETE		Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO		Directa de fábrica	Por medio del representante	Por medio del representante

**Nota:** El costo del sensor de humedad no se especifica en esta tabla debido a que se encuentra incluido en el precio de la computadora de proceso.

**Tabla 4.10. Tabla comparativa del sensor de humedad.**

De las tres opciones se eligió al proveedor Accuray, porque el rango de medición es adecuado al rango requerido y su resolución es mayor, además para que sea la misma marca del sensor de peso base y no se tenga diferencias en cuanto a acoplamiento y dimensiones. Nos brindan asesoría técnica gratuita al momento de la instalación. La figura 4.10 muestra el sensor de humedad seleccionado con sus especificaciones técnicas.

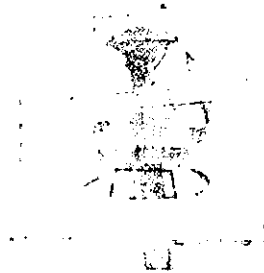


Figura 4.10. Sensor de humedad marca Accuray.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Sensor Accuracy

0.25% moisture or 2.0% of process moisture (two standard deviation), whichever is greater.

### Stability

Less than 0.008 times the actual percent moisture per hour, removed at standardize intervals.

### Repeatability

0.15% moisture or 1.5% of indicated moisture (two standard deviation) on provided check samples after standardization.

### Resolution

Better than 0.1% moisture.

### Measurement Range

0-20% moisture. Extended capability, 45% to 65% moisture, may require basis weight input.

### Basis Weight Range

8 gms (5 lbs. Per 3,000 sq. ft.) or greater. Surface moisture measurement only above 100 gsm (60 lbs. Per 3,000 sq. ft.).

### Environment

Ambient temperature up to 70°C (158°F)

High temperature option up to 148°C (298°F) ambient.

Humidity up to 95% R.H.; non-condensing.

Condensing environment per special application request.

### Automatic Standardize

50-60 times per second short term. Up to once every two hours long term.

## 11. Marco de medición

Debido a que los sensores de peso base y humedad son de la marca Accuray, el proveedor nos sugirió que se montarán en el marco de medición de la misma marca, ya

que está diseñado especialmente para este efecto. El costo del marco de medición está incluido en el precio de la computadora de proceso. Además la asesoría técnica gratuita al momento de la instalación. La figura 4.11 muestra el marco de medición seleccionado y sus especificaciones técnicas.

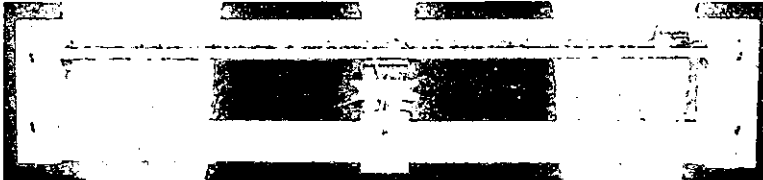


Figura 4.11. Marco de medición marca Accuray.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Structure

Welded, closed-beam construction of 10 mm (3/8") steel plate. Outside beam cross-section 405 x 355 mm (16" x 14").

### Coating

Steel pre-treated per SSPC-SP10 and zinc coated. Red oxide primer and high solids polyurethane topcoat.

### Weight

595 kg + 266 kg per meter mounting hole distance (1313 lbs. plus 179 lbs. per foot).

### Length

Standard up to 12 meters (472") Longer upon request.

### Traversing

50 mm (2") wide drive belts. Brush-less three-phase motor, 0.2 KW, AC, variable frequency inverter control system.

### Passline

0-25° standard end column, 0-45° extended end column.

### Way System

Polished, solid steel bars, 25 mm (1") in diameter. Factory laser-aligned to +/- 50 microns (+/-0.002").

### Sealing System

Airtight construction. Required air pressurization 6-20 mm (0.25-0.75") of water, using 100-159 mm (4-6") duct. Air purge unit available upon request.

### Electric Power

115 VAC, 1 KVA, 50-60 Hz, plus 220/230 VAC, 0.5 KVA, 50-60 Hz.

### Temperature

Maximum sheet temperature 120°C (250°F); ambient air temperature maximum 80°C (175°F).

## e) Computadora de proceso

Características generales:

Computadora tipo industrial con capacidad de 16 puertos.

Periféricos (Unidad lectora de disco, consola, impresora, etc.).

Protocolo serial link o 485.

Capacidad de memoria de 8 megabytes.

Estación del operador.

En la tabla 4.11 se presentan las opciones para su elección.

FABRICA DE PAPEL LOS REYES				
COMPUTADORA DE PROCESO				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN (MARCA, MODELO, ETC.)	PROVEEDOR No. 1	PROVEEDOR No. 2	PROVEEDOR No 3
1	Computadora de proceso tipo Industrial Con periféricos	Accuray	Measurex	Eurotherm
VELOCIDAD DE COMUNICACIÓN		31.5 kbaud	31.5 kbaud	25 kbaud
CAPACIDAD DE PUERTOS		16	10	8
DISTANCIA DE COMUNICACIÓN		609 m	500 m	400 m
CAPACIDAD DE MEMORIA		8 megabytes	8 megabytes	4 megabytes
PRECIO UNITARIO (moneda nacional)		\$2,850,000.00	\$3,325,000.00	\$2,375,000.00
TIEMPO DE ENTREGA		3 semanas	6 semanas	4 semanas
FLETE		Puesto en planta	Puesto en planta	Puesto en planta
GARANTÍA		1 año	1 año	1 año
SERVICIO TÉCNICO		Directo de fábrica	Por medio del representante	Por medio del representante

Tabla 4.11. Tabla comparativa de la computadora de proceso marca Accuray.

Haciendo un análisis detallado de cada opción se seleccionó al proveedor de la marca Accuray, ya que los sensores, el marco de medición y los actuadores del distribuidor de flujo (*linear stepper*) son del mismo proveedor y nos garantiza el adecuado acoplamiento de dichos elementos. Además cumple con los requerimientos de la cantidad de puertos y la capacidad de memoria necesaria. La figura 4.12 muestra la computadora elegida y sus especificaciones técnicas. Cabe mencionar que el precio de la computadora de proceso incluye el marco de medición con los dos sensores, el de peso y el de humedad.



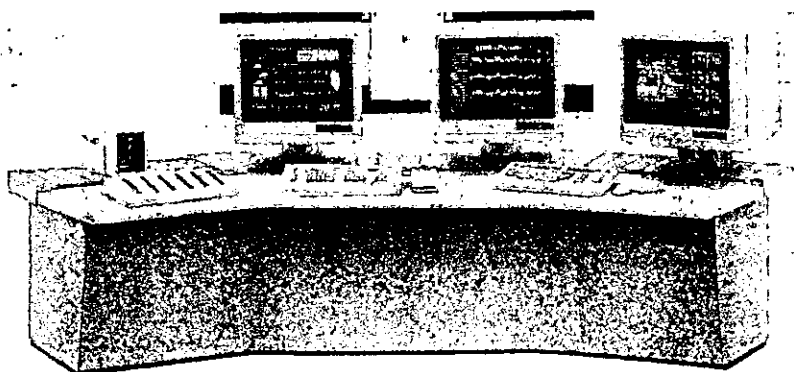


Figura 4.12. Computadora de Proceso marca Accuray.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Local-Area Distributed Process Control

#### Communications

Speed: 31.25K baud

Distance: 2000 feet (609.3m)

#### Capacity

Addresses: 16 (actual number of devices is dependent upon application)

#### Microprocessor Cycle Time

250 ms

#### Environment

Ambient Temperature: 5-50°C (41-122°F)

Relative Humidity: 5-95% at 32°C (90°F).

### Memory Retention (unpowered)

1 year minimum

### Power

Voltage range: 110-120V ac, 220-240V ac

Frequency range: 59.5-60.5 Hz, 49.5-50.5 Hz

### Microprocessor Capacity

Transmission bits: 16 bits

Transmission speed: 153 MHz

Memory : 8 Megabytes

### 4.1.2. Configuración general del sistema de control

Un componente fundamental en la operación del sistema es el control de lazo cerrado con retroalimentación, el cual consta de los siguientes elementos: el proceso, el instrumento de medición, el controlador y el elemento final de control, todos estos elementos se encuentran interconectados. La figura 4.13 nos muestra el esquema del control en diagrama de bloques.

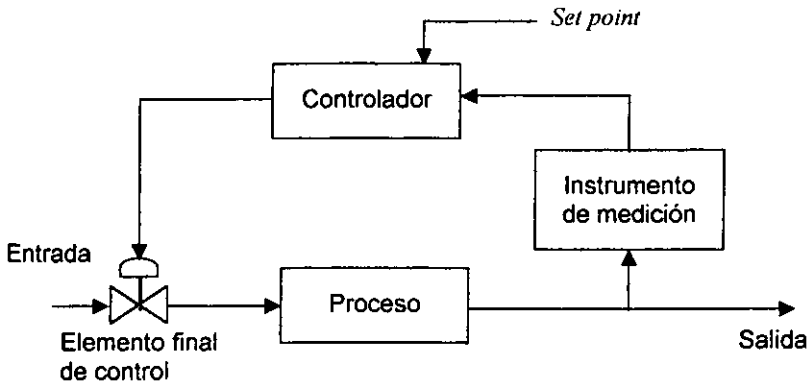


Figura 4.13. Diagrama general del lazo de control.

Haciendo una analogía con el sistema a implementar, la entrada representa la variable que se va a manipular (consistencia, flujo de pasta, peso base, humedad) mediante el accionamiento de la válvula o elemento final de control, la posición de ésta última será determinada por el controlador que tendrá definido el valor requerido de la variable representado por el *set point*. El controlador recibe el valor actual de la variable mediante el instrumento de medición, este valor es comparado con el valor del *set point* y determina si existe diferencia y en caso necesario realiza el ajuste correspondiente. La salida representa la variable controlada.

Todas las variables que se van a controlar en el proceso de fabricación del papel como son la consistencia, el flujo de pasta, el peso y la humedad, tendrán el diagrama básico mostrado en la figura anterior.

La razón por la cual hay que hacer uso de lazos de control, es debido a que al implementarlos el sistema adquiere ciertas propiedades:

- Rapidez de respuesta.
- Estabilidad relativa.
- Exactitud del sistema (minimización del error permitido).

Con ello se asegura el funcionamiento óptimo del proceso, teniendo como resultado incremento en la productividad y reducción de la merma.

En la figura 4.14 se muestra el diagrama a bloques de la máquina "MAQ II" con los elementos sensores que la integran.

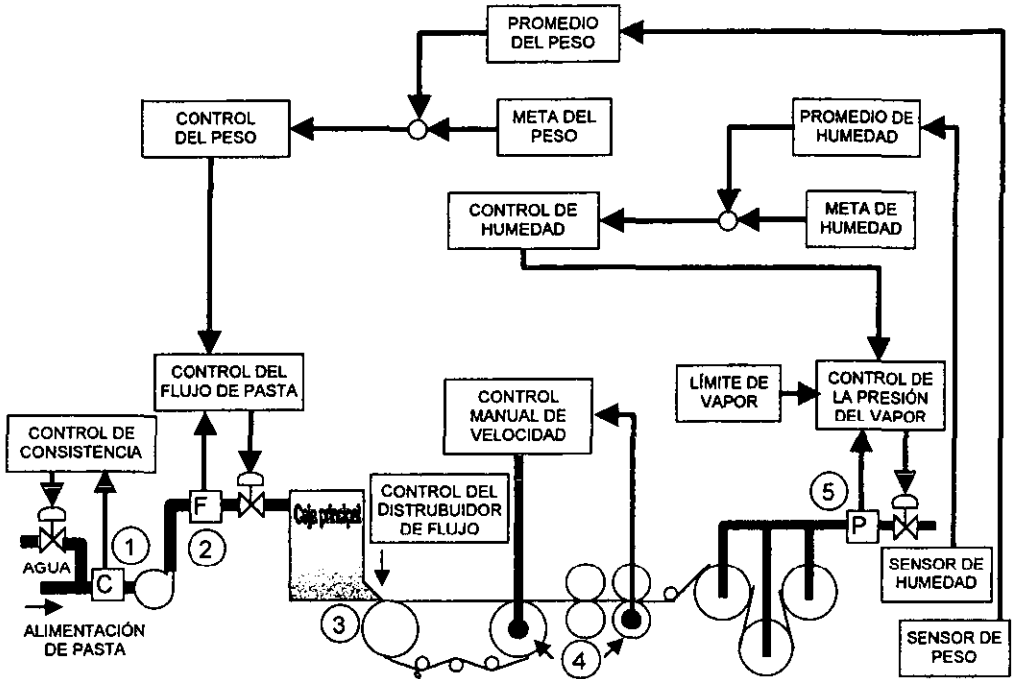


Figura 4.14. Diagrama a bloques del modelo de control para automatizar "MAQ II".

En la figura se presentan todos los elementos que harán posible la automatización de la máquina. En la sección de alimentación de pasta se colocarán el medidor de consistencia, indicado con el número 1, que controlará la válvula de dilución, y el medidor de flujo, indicado con el número 2, que controlará la válvula de flujo de pasta. El flujo de pasta será controlado por el sensor de peso, mientras que la consistencia y el distribuidor de flujo de la caja principal, son lazos independientes. A la salida de la caja principal se ubicarán los actuadores del distribuidor de flujo, con sus respectivos LVDT's, indicados con el número 3.

Los tacómetros se instalarán en el rodillo cabezal de la mesa de formación, indicado con el número 4, en un rodillo de la sección de prensas, en la calandra y en el enrollador. La velocidad de la mesa de formación es la referencia para las otras secciones de la máquina. Cabe mencionar que el control de velocidad se hace en forma manual.

En la sección de secadores se colocará un medidor de presión, indicado con el número 5, para controlar la válvula del flujo de vapor. Esta variable será controlada por el sensor de humedad. Finalmente los sensores de peso y humedad se encontrarán ubicados entre la calandra y el enrollador.

El control de peso, el control de humedad, el control de flujo de pasta, el control de consistencia, el control del distribuidor de flujo y el control de la presión de vapor se ejecutan desde la computadora, ya que ella es la que recibe las señales provenientes de los sensores, las procesa y las envía hacia los respectivos accionamientos.

### 4.1.3. Sistema de adquisición de datos

En la figura 4.15 observamos el diagrama empleado para la adquisición de datos de las señales analógicas, compuesto por 4 módulos.

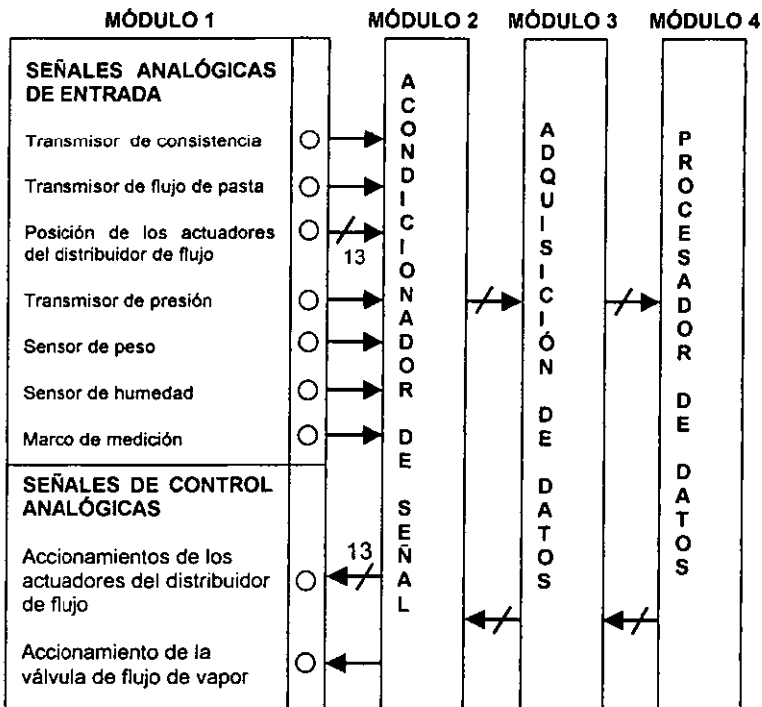


Figura 4.15. Diagrama del sistema de adquisición de datos de señales analógicas.

En la figura 4.16 se muestra el sistema de adquisición de datos de las señales digitales, compuesto por 4 módulos.

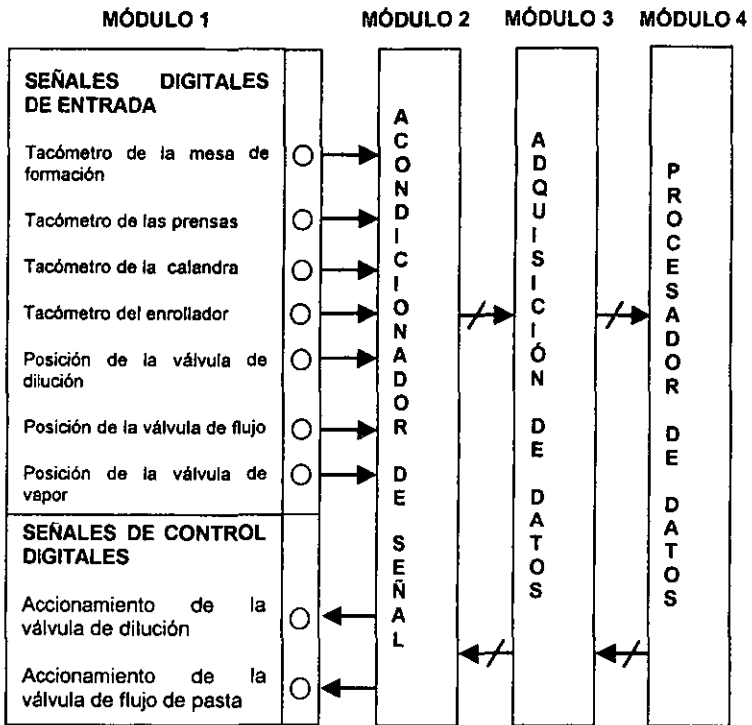


Figura 4.16. Diagrama del sistema de adquisición de datos de señales digitales.

Los módulos que forman el sistema de adquisición de datos tanto de señales analógicas como digitales, se describen a continuación.

#### a) Módulo 1

Este módulo está integrado por los transmisores, transductores y accionamientos.

1. Los transmisores utilizados para medir la consistencia, el flujo de pasta y la presión, tienen que enviar su señal de salida a una distancia mayor a los 100 m, por lo que dichas señales son analógicas y deben cumplir con el estándar de instrumentación de 4 a 20 mA.

2. Por lo general las señales emitidas por los sensores son de magnitud demasiado pequeñas, las cuales requieren de una amplificación con el propósito de manipularlas con mayor comodidad, que será el caso para el sensor de peso requerido, por lo cual será necesario enviar dicha señal de salida a un pequeño módulo que amplifique y entregue la señal en niveles de voltaje dentro de un rango de 0 a 10 volts antes de ser enviada a la computadora.

Para la señal de humedad el sensor detectará las variaciones y entregará una señal de salida en el rango de 0 a 10 volts para estandarizar valores con respecto al sensor de peso, consiguiendo así una manipulación de la señal con mayor comodidad.

3. Los accionamientos de las válvulas para la dilución de pasta y para el flujo de pasta deben ser eléctricos, ya que de esta manera nos facilita el control sobre de ellos. Utilizando para su funcionamiento una señal de pulsos. La señal que represente el estado lógico alto será de 24 VDC y la señal que represente el estado lógico baja será de 0 VDC.
4. El accionamiento de la válvula para el control de vapor es neumático pero deberá contar con un módulo que convierte la señal de 4 a 20 mA a presión.
5. Los tacómetros instalados serán empleados únicamente para obtener las lecturas de velocidad, ellos deben proporcionar una señal en su salida en forma cuadrada representando el estado lógico alto de la señal 10 volts y representando el estado lógico bajo de la señal 0 volts.

## b) Módulo 2

Este módulo estará integrado por dos procesadores esclavos o también llamados procesadores programables.

El procesador esclavo 1 además de sus elementos básicos (microprocesador, memoria, etc.), contendrá las tarjetas de interfaz necesarias para la operación del proceso.

- Interfaces de entrada para la recepción de señales

Requerimos 6 entradas analógicas provenientes de los siguientes dispositivos:

- Transmisor de consistencia
- Transmisor de flujo de pasta
- Transmisor de presión
- Sensor de peso

- Sensor de humedad
- Marco de medición

Requerimos 4 entradas digitales provenientes de los tacómetros instalados en:

- El rodillo cabezal de succión
- Uno de los rodillos de la sección de prensas
- Uno de los rodillos de la sección de calandreo
- El enrollador

Requerimos de 3 entradas digitales provenientes de las válvulas:

- Posición de la válvula de dilución
- Posición de la válvula de flujo de pasta
- Posición de la válvula de vapor

Total de entradas analógicas      6

Total de entradas digitales      7

- Interfaces de salida para el control de accionamientos

Se requiere 1 Salida analógica para controlar:

- La válvula de vapor.

Se requieren 2 salidas digitales para controlar:

- La válvula para dilución de pasta
- La válvula de flujo de pasta

Total de salidas analógicas      1

Total de salidas digitales      2

En el caso del procesador esclavo 2, además de sus elementos básicos, se deberán tener las interfaces necesarias para el manejo de las siguientes señales:

- Interfaces de entrada para la recepción de señales

Requerimos 13 entradas analógicas para el manejo de las señales provenientes de los actuadores con LVDT.

Total de entradas analógicas 13

- Interfaces de salida para el control de accionamientos

Requerimos 13 salidas analógicas para controlar la posición de los actuadores con LVDT.

Total de salidas analógicas 13

### c) Módulo 3

#### Computadora

La computadora estará integrada por los elementos básicos ( procesador, memoria, puertos de E/S, etc.), una estación del operador y el conjunto de interfaces necesarias para la recolección de datos.

Requerimos 2 puertos de comunicación con un protocolo *serial link* o RS 485 para:

- Lograr la intercomunicación entre los dos procesadores y la computadora a una distancia mayor de 50m.

Se requieren los siguientes puertos de salida:

- Paralelo (para conexión de impresora)
- RGB (para conexión del monitor)

Total de entradas para comunicación 2

Total de salidas por puerto paralelo 1

Total de salidas por puerto RGB 1

### d) Módulo 4

#### Adquisición y procesamiento de datos

La programación del sistema se encargará del acceso a cualquier tipo de *hardware* a través de un grupo de instrucciones iniciales conocidas como "BIOS" que interactúa con el procesador y un sistema operativo.

Se requiere programar el sistema de control para que realice tareas como: obtención y procesamiento de datos, manipulación y control de dispositivos, despliegue de páginas y variables en el monitor del proceso, generar reportes y gráficas. Para ello la programación estará conformada en dos secciones:



- **Programación de la Computadora.** A esta parte de la programación la reconoceremos como *Software* y deberá contener la inicialización e información común al sistema.
- **Programación de los Procesadores Programables.** A esta parte de la programación la reconoceremos como *Firmware* y deberá contener la información específica para cada elemento a controlar.

Para lograrlo requerimos de un lenguaje que sea entendible, manejable y que podemos acceder con él, secciones del programa, archivos, palabras, bits.

## 4.2. DESCRIPCIÓN DEL *SOFTWARE*

En este apartado se realizará una descripción del *software* utilizado para el funcionamiento del equipo de cómputo. Cabe mencionar que dicho *software* fue proporcionado en la compra del equipo de cómputo. Este *software* contiene el programa de aplicación, elaborado exclusivamente para que trabaje en el proceso de fabricación del papel, no obstante aun cuando se tiene dicho programa de aplicación, es necesario integrarlo en el equipo de cómputo e introducir los parámetros necesarios de operación, para lo cual es evidente que se tengan los conocimientos para realizar dichas tareas, por tal razón la existencia de la siguiente descripción.

El diseño de aplicaciones ha cambiado drásticamente en los últimos años y consecuentemente los estilos de programación. De una programación secuencial se da paso a una programación modular, para llegar a una programación estructurada, con muy buenos resultados. A partir de la programación estructurada los esfuerzos se centraron en potenciar la modularidad y la reutilización de códigos, lo que condujo a la programación orientada a objetos, que se complementa con una programación basada en componentes de *software*. Pero que los estilos hayan cambiado no significa que el último elimine a los anteriores, al contrario, se apoya en ellos.

Los programas de aplicación son diseñados para que trabajen en un *hardware* específico. La función de la computadora será completamente de carácter supervisora, inicializará el módulo procesador programable y manipulará los datos del proceso. El funcionamiento del módulo procesador programable será necesario para controlar las variables del proceso, tales como consistencia, flujo de pasta, peso y humedad. Por lo cual es conveniente que la programación del sistema contenga una sección de carácter específico que residirá en la computadora y una sección de carácter común que deberá ser instalada en el módulo procesador programable. Con ello conseguiremos que el sistema trabaje en forma centralizada, dotándolo de una versatilidad en la introducción de parámetros necesarios para su buen funcionamiento.

Para una mejor referencia de la programación específica y común, emplearemos los siguientes términos.

**Software:** Hacemos referencia a los programas y datos de carácter común almacenados en la computadora.

**Firmware:** Hacemos referencia a los programas y datos de carácter específico almacenados en el módulo procesador programable.

El *software* que residirá en la computadora permitirá realizar las siguientes funciones:

- Monitoreo del marco de medición.
- Conversión de datos.
- Adquisición de la base de datos.
- Petición de procesamiento.
- Procesamiento del algoritmo de control.
- Acumulación y reporte de datos.
- Generación de reportes.

El *firmware* que residirá en el módulo procesador programable permitirá realizar las siguientes funciones:

- Secuencia lógica.
- Monitoreo de perfiles.
- Control de actuadores.
- Procesamiento de datos de los sensores.
- Procesamiento de entradas y salidas.
- Control del recorrido del marco de medición.

Para que ambas funciones se lleven a cabo es necesario iniciar el equipo de cómputo, para ello el equipo tiene que cumplir con una secuencia de eventos, los

cuales son ejecutados mediante vectores de interrupción, siendo estos unos de los aspectos de mayor trascendencia en la programación del sistema, es por ello que se presentan a continuación sus características más importantes.

El hecho de que exista una tabla de interrupciones indica que la computadora reconoce más de una, ya que en caso contrario no se necesitaría una tabla sino que sería suficiente un puntero de interrupciones. Las interrupciones de *software* y de *hardware* se mezclaron en un solo conjunto, ya que sólo es el tipo de la llamada de interrupción lo que indica cuál de ellas debe ejecutarse. En una interrupción de *software* es el programa correspondiente el que fija el número de interrupción a ejecutar y en una interrupción de *hardware* es el controlador de interrupciones el que hace la elección. Cada una de las entradas de la tabla de vectores de interrupción ocupa dos palabras seguidas, una que indica la dirección del segmento y la otra el *offset* del correspondiente administrador de interrupciones. En la tabla 4.12 presentamos un listado de los vectores de interrupción utilizados en la ejecución de la secuencia para iniciar el equipo de cómputo.

Vector de Interrupción Número	Contenido
01	CPU: Primer paso
02	CPU: Elemento RAM
03	CPU: Se ha llegado al punto de interrupción
08	IRQ0: Tiempos
09	IRQ1: Teclado
0B	IRQ3: Puerto de comunicación serie 1
0C	IRQ4: Puerto de comunicación serie 2
0D	IRQ5: Disco duro
0E	IRQ6: Disquete
0F	IRQ7: Impresora
10	BIOS: Funciones de video
11	BIOS: Averiguar configuración
12	BIOS: Averiguar tamaño de la memoria RAM
13	BIOS: Funciones de disquetes / disco duro / CD
14	BIOS: Acceso a puertos de conexión serie
15	BIOS: Botar sistema

Tabla 4.12. Vectores de interrupción empleados en la inicialización.

La secuencia de eventos de inicialización para el equipo de cómputo se encuentra en la siguiente lista.

#### 4.2.1. Lista de eventos que ocurren cuando el equipo es iniciado

1. Ejecuta una rutina de diagnóstico y reconocimiento del sistema.
2. Ejecuta la inicialización desde la memoria ROM de la computadora.
3. Carga la configuración maestra.
4. Carga el *software*.
5. Imprime el mapa de la configuración existente.
6. Imprime un mensaje " Sistema Listo".
7. Carga el *firmware*.
8. Imprime un mensaje de reconocimiento "Cargando Módulo No. 1".
9. Carga la base de datos.
10. Almacena las tablas de especificación.
11. Inicializa el marco de medición.
12. Carga la estructura del desplegado para las variables.
13. Imprime un mensaje final "Sistema Inicializado".

A continuación se desarrolla esta secuencia.

**Evento No. 1.** Diagnóstico de reconocimiento.

**Evento No. 2.** Inicialización: los dos primeros eventos de la lista.

Son ejecutados al activar la interrupción 01, llamada Primer paso, y son ejecutados por la *CPU*. Estos eventos son estándar, se presentan invariablemente en cualquier tipo de computadora, son reconocidos dentro de las diferentes rutinas controladoras de dispositivos, que se encuentran localizados en las funciones del *BIOS* "Sistema operativo inicial", que facilita las funciones para el acceso a cada uno de los dispositivos que se encuentran instalados.

**Evento No.3.** " Cargar la configuración maestra".

Los datos de programación se encuentran almacenados en discos flexibles o bien podemos almacenarlos en discos compactos "CD", la ejecución del vector de interrupción número 13 "Funciones de disquete /disco duro / Disco compacto" permite iniciar la lectura y carga, almacenando dentro de la memoria RAM del sistema la información correspondiente a la configuración maestra, y la ejecución del vector de interrupción número 11 "Averigua la configuración", permite que el sistema reconozca los recursos con los cuales cuenta para su funcionamiento.

#### Evento No.4. Carga del *software*.

La mayor parte de la programación que contiene la computadora es realizada secuencialmente mediante el lenguaje *BASIC (Beginners All Purpose Symbolic Instruction Code)*, encontrándose descrita en un compendio compuesto por más de 4500 hojas, en las cuales se desarrollan cada una de las instrucciones necesarias para el funcionamiento de la misma. A continuación se presenta uno de varios programas que contiene el *software*, conocido como adquisición de datos de instrumentos.

```

1' ***** PROGRAMA ADQUISICIÓN DE DATOS DE UN INSTRUMENTO *****
2'
3'   Adquisición de datos
4'
5'
6'
10  SCREEN 0,0 : KEY OFF
11  XONS$=CHR$(17): XOFF$=(19) : SUSPEND=0
12  OPEN "analiza .data" FOR OUT AS # 2 'el archivo secuencial "analiza.dat"
13  detendrá datos de entrada procedentes del instrumento
14  OPEN "COM1 : 1200,N,8" AS #3 ' abre archivo nr. 3 como línea de comunicación
15  A 1200 baudios , no paridad, 8 bits de datos por palabra, 1 bit de parada
16  ON COM (1) GO SUB 480 " Cuando hay datos en la entrada procesarlos"
17  GOSUB 390 "visualizar menú de ordenes"
18  INPUT C : ON C GOTO 23,27,35,31, "introducir elección e ir a la rutina de
19  Ordenes"
20  PRINT "elección incorrecta probar de nuevo" mensaje de error
21  FOR Q = 0 TO 61 : NEXT
22  GOTO 60
23  PRINT #3, "A0" "es orden de inicialización"
24  PRINT "instrumento inicializado"
25  FOR Q = 0 TO 61 : NEXT
26  GOTO 60
27  PRINT #3, "A1" "es orden de finalizar"
28  PRINT "instrumento desconectado"
29  FOR Q = 0 TO 61 : NEXT
30  GOTO 60
31  PRINT #3 , "A1" "es orden de finalizar"
32  PRINT " instrumento desconectado y programa finalizado"
33  FOR Q = 0 TO 61 : NEXT
34  CLOSE : END
35  LINE INPUT "introducir datos de instrumento de dos dígitos : 39, 00,32 (ENTER)-"; DATACOM$
36  PRINT #3, "A2" es orden de espera de parámetros

```

```

37 PRINT " datos instrumento"
38 FOR Q = 0 TO 61 NEXT
39 Y = 0
40 FOR X = 1 TO (LEN(DATACOM$)+1)/3
41 Y = Y +1
42 Z$=MID$(DATOCOM$,Y,2 "obtener entrada de datos de dos dígitos"
43 PRINT VAL(Z$) "imprime valor numérico de entrada de dato"
44 PRINT #3,"A3",VAL(Z$) "enviar valor numérico de entrada de dato"
45 Y = Y +2 "incrementar contador cadena de entrada para apuntar a la siguiente entrada"
46 NEXT
47 PRINT #3,"A3" es orden de fin de datos
48 FOR Q = 0 TO 61: NEXT
49 GOTO 60
50 CLS
51 PRINT "INTRODUCIR ELECCION DE ORDEN (1-4)"
52 PRINT
53 PRINT " 1 .- INICIALIZAR INSTRUMENTO"
54 PRINT " 2 .- DESCONECTAR INSTRUMENTO"
55 PRINT " 3 .- ENVIAR DATOS DE ORDENES AL INSTRUMENTO"
56 PRINT " 4 .- DESCONECTAR INSTRUMENTO Y ABANDONAR PROGRAMA"
57 PRINT
58 RETURN
59 IF LOC (3)MYOR A 128 THEN SUSPEND = 1 :PRINT #3,XOFF$ "si memoria intermedia de suspend
esta llena en más de la mitad , entonces pon a 1 el indicador "suspend" y suspende la introducción
con la orden XOFF".
60 A$=INPUT$LOC 3,#3 poner contenido de memoria intermedia de entrada en A$
61 FOR I = 1 TO LEN (A$) comprobar código de error procedente del instrumento
62 IF MID$(A$,I,1) = CHR$(27) THEN 67 si se recibe carácter escape código 27 entonces ir a rutina de
error
63 NEXT
64 PRINT #2,A$: IF EOF(3) THEN 65 ELSE 59 almacenar datos si se precisan más entradas
obtenerlas
65 IF SUSPEND = 1 THEN SUSPEND = 0 : PRINT #3, XON$ reanudar entrada procedente del
instrumento con el carácter XON
66 RETURN
67 PRINT "ERROR DEL INSTRUMENTO"
68 GOTO 27 "desconectar el instrumento y volver al menú principal"

```

**Evento No. 5.** Imprime el mapa de la configuración existente.

**Evento No. 6.** Imprime mensaje "Sistema listo".

Cuando el sistema termino de cargar la programación, éste ha inicializado por completo la computadora, enviándonos un mensaje que el sistema se encuentra listo, cargado con la programación de aplicación. La siguiente lista *RESTAR PRINTOUT* es enviada por la computadora notificando la carga de cada uno de estos programas y envía un mensaje *SYSTEM READY*, en señal que ha terminado la carga de los programas correspondientes al *Software*. Cabe mencionar que estos programas no requieren de modificación ya que su programación, como lo hemos mencionado, corresponde al funcionamiento propio del equipo. El área que aparece marcada como

destinada para modificación es usada para tal efecto pero refiriéndose a la programación correspondiente del *Firmware* que a continuación se dará su explicación.

RESTART PRINTOUT

KSR	
DSK	
ASR	
IMIS	
PSSD	
PSSD\$1	
PSSD\$2	Programas de aplicación y Datos
PSSD\$3	
PSSD\$N	
XEXO3	
CDRIVE	
SERIAL	
YFMO2	
EPSIM	
XBMO1	
FBZIM	
YTRAP	
MSGBFA	
TZBF	
YXDD	
FLEXKEY	
ABREV.	
HOKS	
FLEX	
FLXBUF	Buffer de comunicación
MTHLIB	
MODIFY	Área para modificación
DINIT	
XMAP	

SYSTEM READY

**Evento No. 7. Carga del *Firmware*.**

Este evento corresponde a la carga del *firmware*. Como se ha explicado esta programación es necesaria para el funcionamiento del módulo programable, constituido por las interfaces empleadas en la interrelación con las variables del proceso y acondicionamiento de las mismas. Para ello utiliza 500 archivos, la mayoría de ellos se encuentran destinados al funcionamiento del módulo, enlace para completar la inicialización, recepción, envío y acondicionamiento de las señales del proceso. Esta programación es realizada por el fabricante, dejando a disponibilidad del usuario los siguientes archivos, empleados para la programación del proceso, ajuste y calibración de los instrumentos empleados en el mismo.

**FRAME** (Archivo de arranque para el marco de medición)

Este archivo contiene los parámetros de recorrido del marco de medición:

- Posición fuera de hoja.
- Posición de auto calibración.
- Posición inicial de recorrido.
- Posición final de recorrido.
- Posición límite de inicio.
- Posición límite final.

**PRIFYL** (Archivo correspondiente a las interfaces del proceso)

Este archivo contiene la identificación y la información de ajuste que utiliza la interfaz de *software*:

- Identificador .
- Voltaje máximo.
- Voltaje mínimo.
- Máximas unidades del cliente.
- Mínimas unidades del cliente.

**SCNFYL** (Archivo correspondiente para acumulación y reporte de variables)

Este archivo contiene la información para la administración y preparación para el despliegado de las variables a través de un monitor de proceso.

**Marco de medición**

- Tiempo de recorrido.
- Divisiones de muestreo.



### **Acumulación y reporte**

- Perfil de peso.
- Promedio de peso.
- Perfil de humedad.
- Promedio de humedad.

### **SYSTFL** (Archivo correspondiente para el enlace y comunicación con la computadora)

Este archivo contiene los siguientes parámetros de comunicación:

- Número de canal.
- Velocidad de transmisión.
- Paridad.
- Bits de datos.
- Bit de parada.

### **PRODC** (archivo correspondiente a código de productos)

Este archivo contiene los datos que identifican la gama de productos que se requiere fabricar, usando el mismo formato para describir el modelo de peso y el modelo de humedad.

- Código de producto.
- Valor de tendencia.
- Valor Estándar.
- Ajuste.
- Límites de perfil.

Los archivos que se han mencionado contienen la estructura mostrada en la figura 4.17, en la cual podremos observar que es posible la modificación total del archivo, de un grupo de instrucciones contenido en él, llamado record, de una palabra del record o simplemente de uno de sus bits.

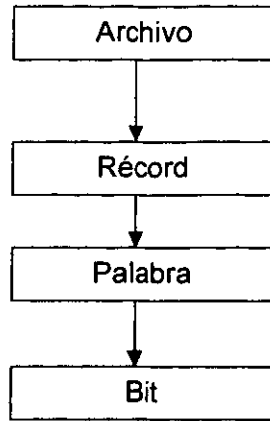


Figura 4.17. Estructura de los archivos en el Firmware.

Para realizar modificaciones en la programación de esta área del sistema, contamos con una herramienta desarrollada para el propio sistema, llamada *FLEX*, proveniente de la abreviación de la palabra " Extensión Flexible". El *FLEX* representa un paquete de programación que cuenta con los siguientes elementos:

- Una serie de comandos

PC	Imprime lista de comandos
PM	Imprime el mapa de Flex
SR	Direcciona un registro
PR	Imprime registro
SO	Especifica un dispositivo
QT	Bloquea Flex
RF	Lee archivo
PS	Imprime archivo
WR	Graba modificación

- Editor de texto

ME	Invoca al editor
R	Lectura
W	Escritura
S	Borrar
M	Mover
P	Imprimir
E	Editar

▪ **Abreviaciones definidas**

AA    Agrega o reemplaza una abreviación  
DA    Borra una abreviación  
LS    Lista una o todas las abreviaciones  
SA    Salva abreviaciones  
EX    Ejecuta comando

▪ **Símbolos para modificaciones**

SM    Lista símbolos de modificación  
DS    Define o reemplaza símbolo  
ES    Elimina símbolo  
LM    Lista modificaciones  
IM    Instala modificación  
CS    Cambia el estado de la modificación  
EM    Elimina modificación

▪ **Lenguaje ensamblador**

SM    Llama al módulo que decodifica las instrucciones de lenguaje ensamblador a código de máquina  
ORG    Especifica el origen dentro de la memoria  
DC    Seudo operador usado para definir una constante de dato o de dirección  
END    Indica el final de la modificación  
IM    Transfiere la modificación al área de memoria especificada en el ORG  
CS    Cambia el estado de la modificación de temporal a permanente

El uso del *FLEX* fue considerado hasta hace algunos años una herramienta bastante poderosa para lograr la programación del sistema, en la actualidad con el desarrollo de los paquetes de programación se ha optado en su gran mayoría por realizar una programación orientada a objetos, cuando se requiere la programación general, es decir cuando el sistema ya se encuentra estructurado a un nivel que sólo es necesario definir o especificar los bloques de control y las características de la variable a manipular, en cualquier otro caso como lo sería configurar una inicialización desde el lenguaje de máquina, resulta más efectivo el empleo de programación por pasos. (Al termino de la inicialización se realizará una descripción de la programación por objetos, que será entonces cuando su aplicación resulta más cómoda y familiar con el operador).

**Evento No. 8.** Imprime un mensaje de reconocimiento.

En este evento el sistema imprime un mensaje en el cual reconoce que en ese momento se encuentra cargando la programación en el modulo. Dicho mensaje es el siguiente:

## "CARGANDO MODULO No. 1"

### Evento No. 9. Carga la base de datos.

En este evento se ejecuta la carga de los datos empleados para el funcionamiento de la programación, dichos datos se encuentran contenidos en el libro denominado mapa de variables el cual contiene dos columnas: una con el nombre de la variable y otra con la dirección que le corresponde en memoria, El total de ellas es de 3680 presentadas en forma alfabética, definidas por el fabricante cuando generó el programa de aplicación.

### Evento No. 10. Almacena las tablas de especificación.

En este evento son almacenados los parámetros bajo los cuales tienen que trabajar las señales recibidas por las interfaces, estos parámetros pasan a formar parte de una tabla que describe cada señal de entrada o salida, con el propósito de manipular la recepción, envío y conversión de señales. Estas tablas se encuentran integradas en subrutinas de la programación y no requieren modificación. A continuación se presenta la tabla 4.13, que contiene los nombres de las subrutinas mencionadas.

AISS	Entradas analógicas
AOSS	Salidas analógica
DISS	Entradas digitales
DOSS	Salidas digitales
PCSS	Cuenta de pulsos
FSCS	Marco de medición y sensores

Tabla 4.13. Nombres de las subrutinas de entrada / salida.

### Evento No. 11. Inicializa el marco de medición.

El programa de inicialización comprende el reconocimiento de la siguientes posiciones, especificadas para el marco de medición:

Las posiciones mencionadas se encuentran representadas en el diagrama de bloques de la figura 4.18.

La posición de OFF indica que esa posición deberá ser tomada siempre que el sensor quede fuera de operación.

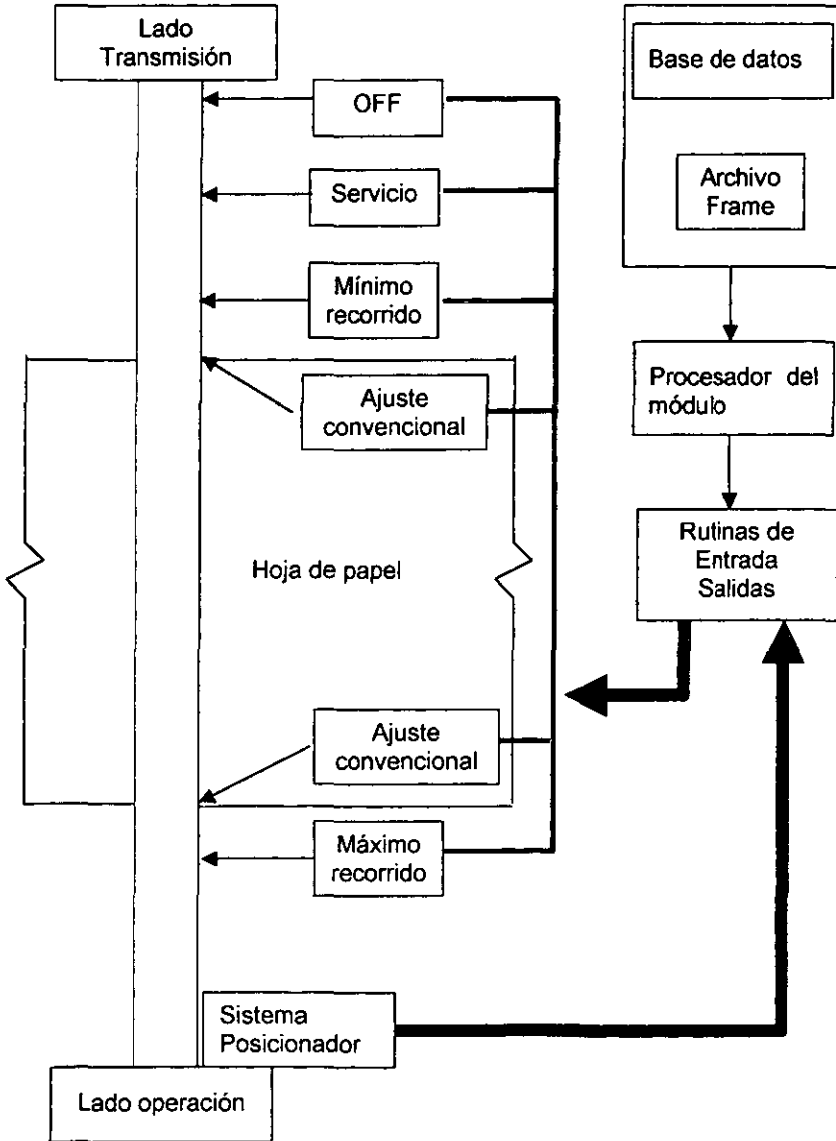


Figura 4.18. Diagrama a bloques de las posiciones del marco de medición.

La posición de Servicio, se encuentra destinada para el mantenimiento correspondiente y / o asistencia técnica necesaria.

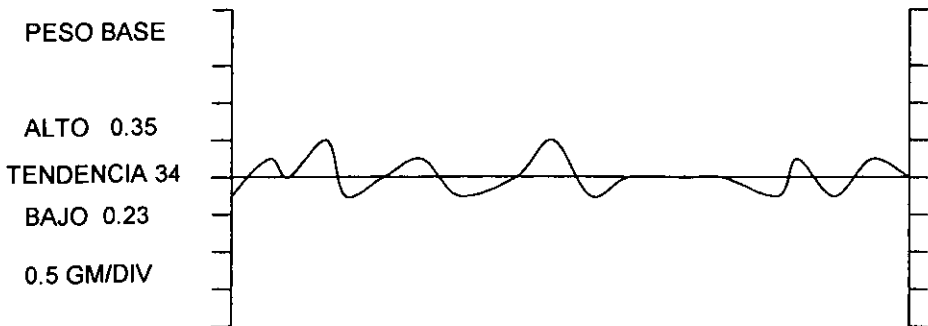
La posición de Mínimo recorrido, se encuentra especificada para que el marco de medición limite su movimiento, cuando se encuentre muestreando las propiedades del papel en el lado transmisión de la máquina.

La posición de ajuste convencional, define el centrado de la hoja tomando como referencia la posición fija de la maquina. Por lo que es necesita tener el control en ambos extremos de la hoja.

La posición de Máximo recorrido, se encuentra especificada para que el marco de medición limite su movimiento cuando se encuentra muestreando las propiedades del papel en el lado operación de la máquina.

**Evento No. 12.** Carga la estructura para el despliegado de las variables.

Este evento contiene las estructuras de visualización para las variables , en las siguientes gráficas podemos observar la estructura para visualizar el perfil de peso base, de humedad y perfil de la hoja.



**Figura 4.19.** Gráfica de peso base.

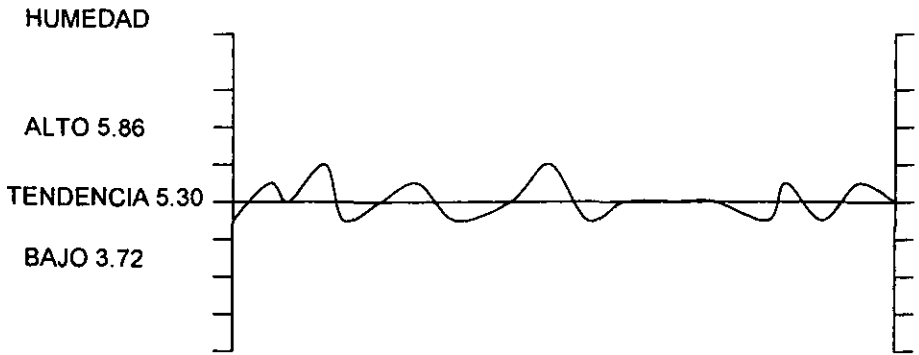


Figura 4.20. Gráfica de humedad.

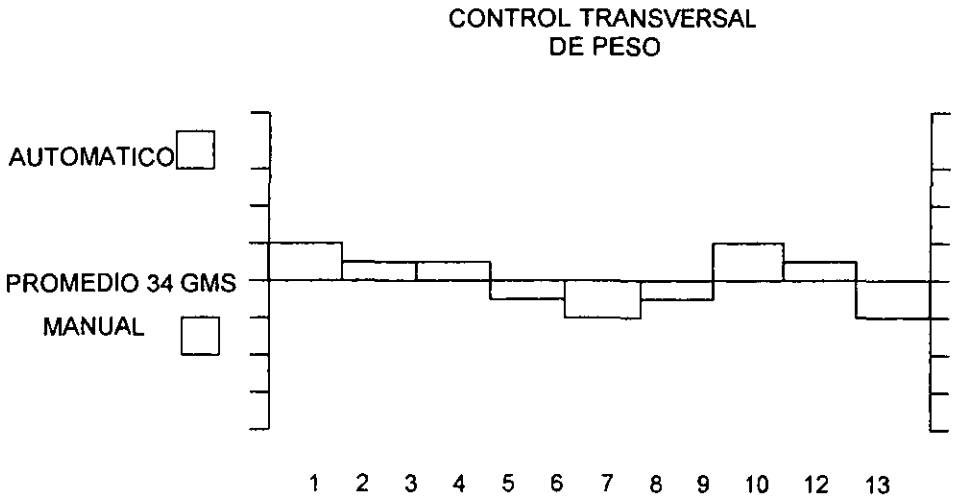


Figura 4.21. Gráfica de control transversal de peso.

Evento No.13. Imprime un mensaje final "Sistema Inicializado".

El mensaje final nos indica que el sistema a sido inicializado por completo y que éste se encuentra en condiciones de funcionamiento normal.

#### 4.2.2. Descripción general del funcionamiento del programa

El programa debe de funcionar de la siguiente manera: se genera una base de datos que cuente con los valores de un modelo de producto. Los datos provenientes de los sensores serán comparados con su modelo correspondiente para determinar si existe o no una desviación. De existir una desviación se transfiriere el control del programa a una rutina de trabajo que gobierna el comportamiento de las variables que afectan las propiedades del papel.

Dicha rutina contendrá los pasos necesarios de programación para realizar el control adecuado en los accionamientos que manipulan tal variable y emitir una acción de incremento o decremento de la misma. Una vez realizada la acción que corrige la desviación de la variable, el control del programa retorna a la adquisición y comparación de los datos provenientes de los sensores iniciando nuevamente esta secuencia. De no existir desviación entre el modelo y las datos provenientes de los sensores, la secuencia del programa se quedará ejecutando un ciclo entre la adquisición y comparación de los datos.

En este capítulo se ha hecho la selección del equipo que se empleará para la automatización de la máquina "MAQ II", y se ha hecho una descripción de la programación del sistema de cómputo, en el siguiente capítulo se describe la integración del sistema.



<b>CAPÍTULO</b>
<b>V</b>

## **INTEGRACIÓN DEL SISTEMA**

En este capítulo desarrollaremos la descripción de la integración del sistema diseñado en base a tres apartados, en el primero se presentan las consideraciones para la compra del equipo, en el segundo se describe la integración del equipo, y en el tercero se presentan las pruebas, adecuaciones y la puesta a punto del sistema.

### **5.1. COMPRA DEL EQUIPO SELECCIONADO**

Para efectuar la compra del equipo seleccionado es necesario elaborar una serie de documentos que por su contenido llevan el siguiente nombre y secuencia:

#### **1. Requisición**

En las prácticas comerciales, la requisición o solicitud de compra es un documento interno en el que se plasman las necesidades o requerimientos, para ello es recomendable que la descripción de los materiales se haga con la mayor claridad posible.

#### **2. Cotización**

Es el documento que generalmente envían los proveedores y en el que manifiestan a los compradores, entre otras cosas, el precio, las condiciones de entrega, condiciones de pago y garantía que ofrecen.

#### **3. Cuadro comparativo**

Este documento lo maneja exclusivamente el departamento de compras, con el propósito de hacer un resumen o compendio de las principales características que ofrecen los proveedores respecto a los materiales o productos, y de esa manera estar

en posibilidades de elegir la alternativa viable de compra, tomando como base las políticas económicas al respecto.

#### **4. La negociación**

La negociación no es un documento, es la parte más importante de todo el proceso de compra, es aquí donde el comprador pone en juego todas sus habilidades, astucia y experiencia para tomar la mejor decisión, pero siempre con el principio de beneficio mutuo, por que cuando se manejan las relaciones comerciales en un solo sentido, la relación no dura mucho tiempo. Las buenas negociaciones son producto de las buenas relaciones humanas y comerciales de cualquier empresa.

#### **5. La orden de compra**

La orden de compra es un documento que maneja el departamento de compras, y puede variar en su forma y extensión de acuerdo a las necesidades de cada empresa; sin embargo, en la práctica comercial es un documento formal que entrega el responsable de compras al proveedor elegido, que al aceptarlo y firmarlo de conformidad se convierte en un contrato de compra-venta, generando consecuentemente derechos y obligaciones para ambas partes. Por lo tanto, en algunos formatos y en virtud de la seguridad y necesidad de cada empresa, se incluye un documento que sirve de base a la orden de compra ( Diseño, catálogo, lista de precios, etc.)

#### **6. Recepción y comprobación de los materiales**

Esto corresponde principalmente a los departamentos que tienen la responsabilidad de verificar las entregas que hacen los proveedores, generalmente son Almacén o Tráfico. La función de estos departamentos son, entre otras: verificar el contenido de las ordenes de compra o pedido contra el contrato de transporte (guía, talón de embarque), para cerciorarse de que es precisamente lo que se consignó en la orden de compra y que no hay faltantes o deterioro significativo en el peso o contenido de los materiales o productos que reciben. Finalmente se elabora un acuse de recibo, para indicar el material que se está recibiendo, mismo que deberá coincidir con nuestro requerimiento original.

En el capítulo anterior se ha elaborado una serie de requerimientos, un cuadro comparativo y la elección justificada para cada proveedor, dicha información fue entregada al departamento de compras y en base a ella, este departamento emitió una orden de compra para cada proveedor.

Al recibir el equipo solicitado, elaboramos un acuse de recibo, que se muestra en la tabla 5.1. Este acuse presenta una columna donde se observa el costo de cada equipo, y al final de este mismo documento se presenta el costo total de los requerimientos solicitados.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO (Moneda Nacional)
1	Transmisor de consistencia	\$109,250.00
1	Válvula para el control de la dilución de pasta	\$46,500.00
1	Transmisor de flujo	\$19,950.00
1	Válvula para el control del flujo de pasta	\$173,275.00
13	Actuadores neumáticos con LVDT del distribuidor de flujo	\$1,852,500.00
1	Un procesador esclavo como interfaz para los 13 actuadores	
4	Tacómetros unidireccionales	\$148,320.00
1	Transmisor de presión	\$9,500.00
1	Válvula para regular vapor	\$96,400.00
1	Computadora para el control de proceso, incluye: Procesador principal o maestro y todos los elementos básicos (unidades lectoras de disco, impresora, etc.) Procesador esclavo Consola de mando Estación del operador con monitor de proceso Marco de medición incluyendo los sensores de peso y humedad <i>Software</i> para la programación del sistema	\$2,850,000.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 5,305,695.00</b>

Tabla 5.1. Acuse de recibo. (Continúa)

\_\_\_\_\_  
 FIRMA INSPECCIÓN DE CALIDAD

\_\_\_\_\_  
 FIRMA ALMACEN DE REFACCIONES

\_\_\_\_\_  
 FIRMA JEFE DE PROYECTO

LUGAR Y FECHA. \_\_\_\_\_

**Tabla 5.1. Acuse de recibo.**

## **5.2. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA**

Para la integración del sistema es necesario la intervención de personal calificado en el área de instrumentos, mecánica, eléctrica y electrónica, con experiencia en el montaje de sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, de control y automatización. Exceptuando el área electrónica, de control y automatización que estamos cubriendo, la persona responsable del proyecto por parte de la fábrica abrió una licitación, invitando a participar a todas aquellas empresas que contaran con el personal adecuado para la realización del montaje, cableado y conexión.

La participación que nos corresponde al respecto, exige presentar las especificaciones respecto al montaje, cableado y conexión con el propósito de incluirse como puntos principales en la licitación. Estableciendo una secuencia de trabajo, en la cual primero se describen las características del trabajo que se debe realizar, utilizando para ello un diagrama general a bloques de la ubicación de cada uno de los elementos que constituyen el proyecto.

### **5.2.1. Máquina de Papel**

La máquina de papel se encuentra conformada por seis secciones principales que se muestran en la figura 5.1. Como podemos observar a un costado de la máquina de papel se encuentra la sala destinada para el control de ella. En la sala de control se encontrarán los siguientes elementos: la computadora principal, la consola, la impresora y la caja de conexiones, en donde encontraremos todos los puntos de conexión necesarios para integrar el sistema electromecánico mencionado.

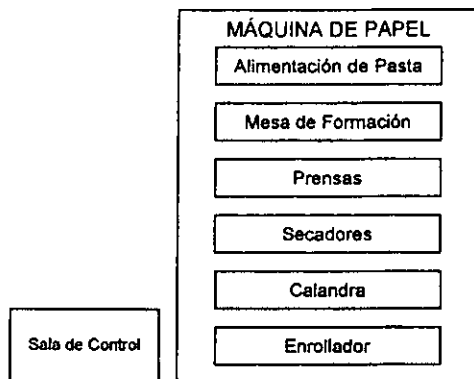


Figura 5.1. Diagrama a bloques de la máquina de papel.

**a) Sala de Control**

La sala de control tiene como característica principal una temperatura constante de 20°C. En la figura 5.2 se presenta la distribución de los equipos de medición y control en la sala de control.

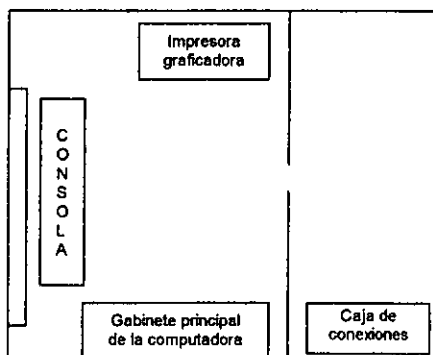
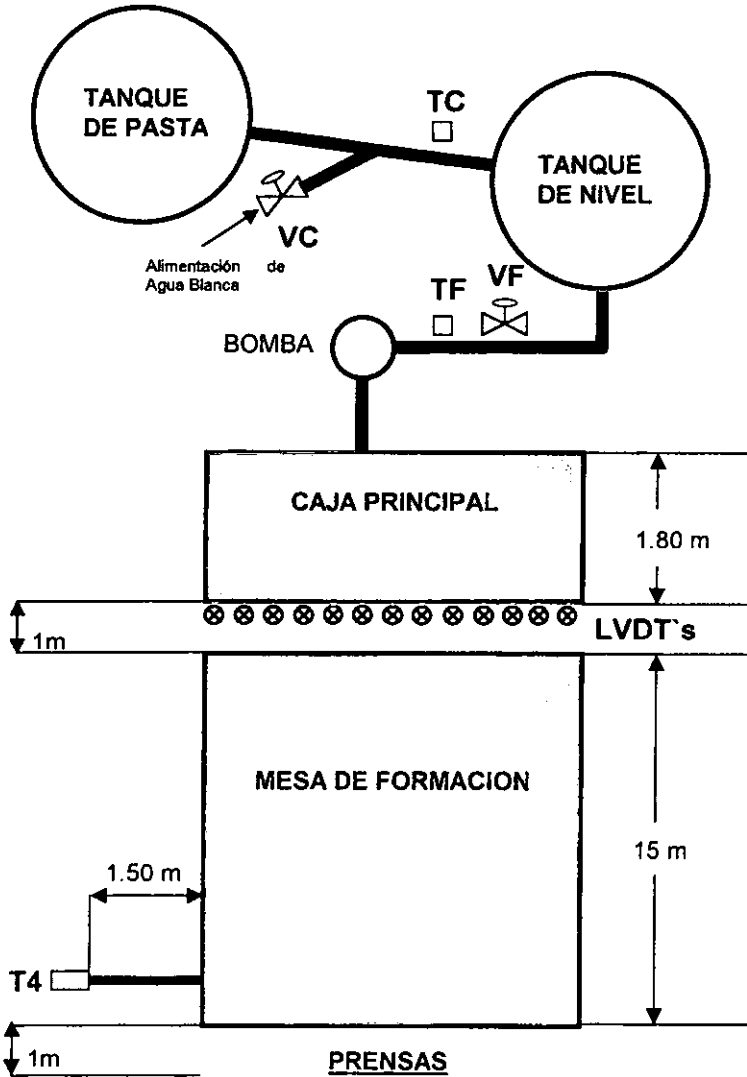


Figura 5.2. Distribución interna de la sala de control.

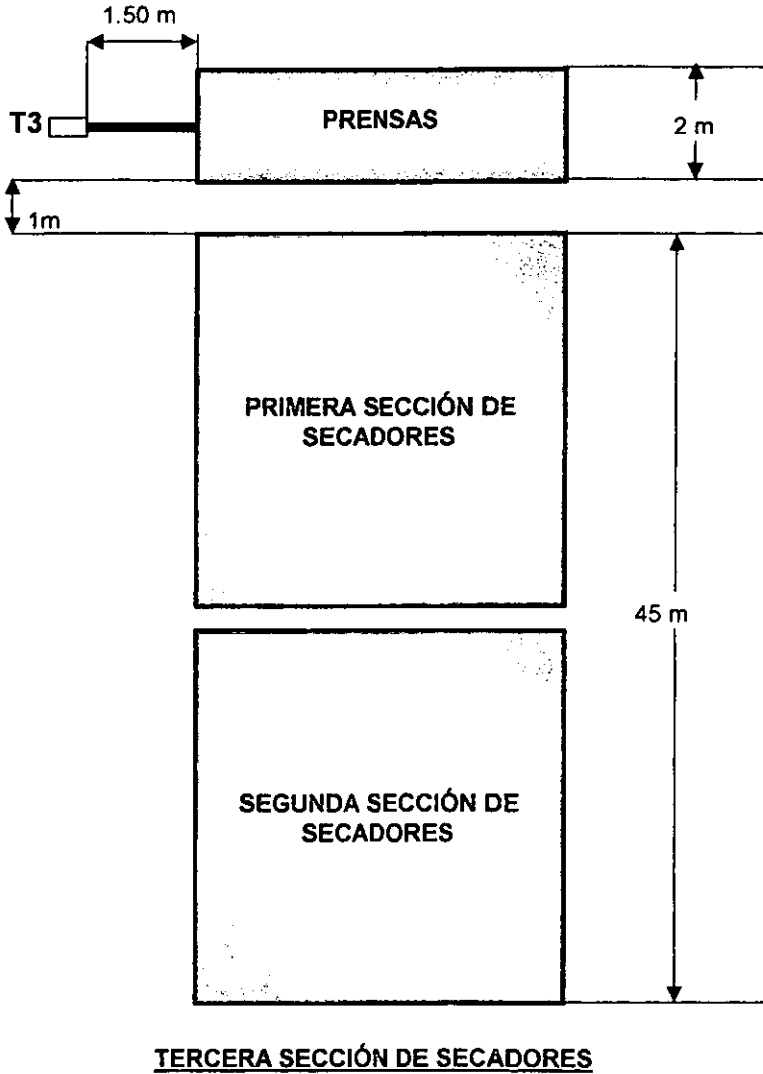
**b) Diagrama de Instalación**

La figura 5.3 muestra el diagrama general a bloques de la ubicación del montaje de cada uno de los elementos que conforman al sistema (transductores, sensores, actuadores, etc.), a lo largo de toda la máquina.



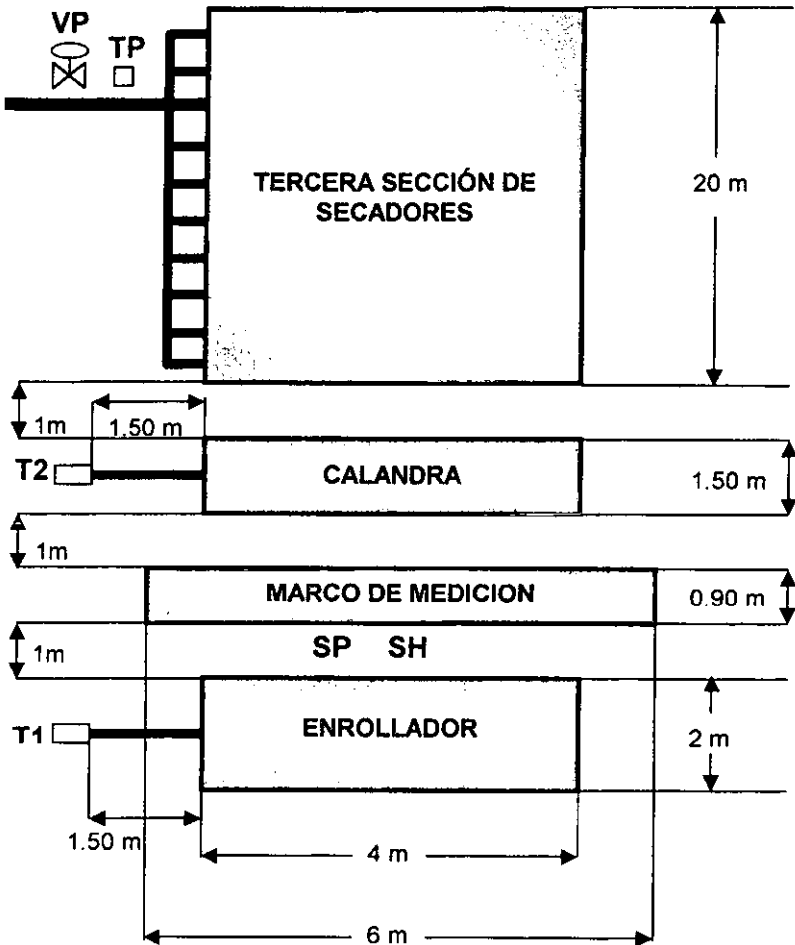
- |  |  |
|--|--|
| <p><b>T4</b> - Tacómetro 4 de la mesa de formación.</p> <p><b>LVDT's</b> - Actuadores del distribuidor de flujo.</p> | <p><b>TF</b> - Transmisor de flujo de pasta.</p> <p><b>VC</b> - Válvula para la dilución.</p> <p><b>TC</b> - Transmisor de consistencia.</p> <p><b>VF</b> - Válvula de flujo de pasta.</p> |
|--|--|

Figura 5.3. Diagrama a bloques de la ubicación de cada elemento del sistema. (Continúa)



T3 – Tacómetro 3 de las presas.

Figura 5.3. Diagrama a bloques de la ubicación de cada elemento del sistema. (Continúa)



T1 – Tacómetro 1 del enrollador.  
 T2 – Tacómetro 2 de la calandra.  
 SP – Sensor de peso.

SH – Sensor de humedad.  
 VP – Válvula de vapor.  
 TP – Transmisor de presión.

Figura 5.3. Diagrama a bloques de la ubicación de cada elemento del sistema.

Cabe mencionar que el sensor de peso y el sensor de humedad no se encuentran indicados como tales en el diagrama, ya que su ubicación física es dentro del marco de medición.



Las dimensiones de la sala de control, son de 10m x 12m, y contendrá en su interior el equipo de cómputo para el control automático del proceso del papel. En la figura 5.4 se presentan las dimensiones de la sala de control y la separación de ésta con respecto al enrollador.

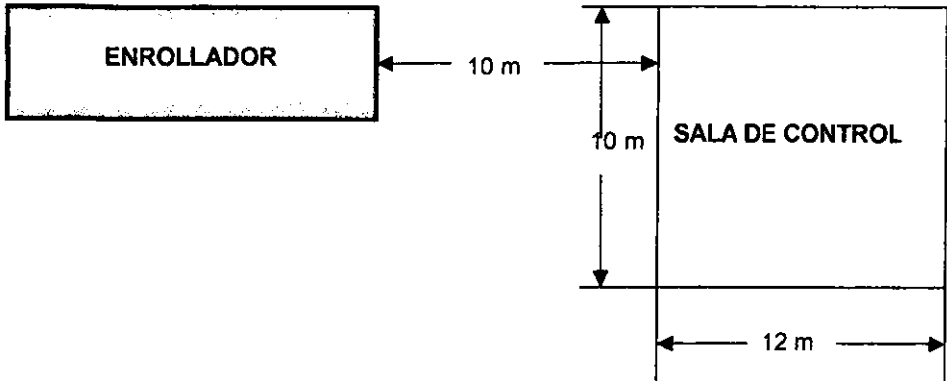


Figura 5.4. Ubicación de la sala de control.

### c) Montaje de Instrumentos y Válvulas

El montaje de instrumentos y válvulas corresponde a dos áreas: el área mecánica y el área de instrumentos. A continuación se mencionan las tareas correspondientes para cada una de ellas.

#### Área mecánica:

- Válvula correspondiente al control de la consistencia para ser instalada en una tubería de 6 pulgadas de diámetro, ubicada a la salida del tanque de agua blanca.
- Válvula correspondiente al control de flujo de pasta para ser instalada en una tubería de 4 pulgadas de diámetro, ubicada a la salida del tanque de nivel.
- Válvula correspondiente al control de presión de vapor instalada en una tubería de 4 pulgadas de diámetro, ubicada en el abastecimiento de vapor para la tercera sección de secadores.
- Instalación de 13 actuadores neumáticos para el control del flujo de pasta, localizados a la salida de la caja principal (distribuidor de flujo).
- Maniobra de 2 toneladas de peso, para ubicación del marco de medición entre la sección de calandreo y la sección del enrollador.

- Maniobra de 800 kilos de peso para ubicar el gabinete principal del sistema de cómputo dentro de una sala de control.
- Realizar un orificio de 71 mm de diámetro, en la tubería de salida del tanque de pasta, de 4 pulgadas de diámetro, la tubería cuenta con ¼ de pulgada de grosor. Dicho orificio es necesario para la instalación del transmisor de consistencia.
- Acondicionamiento de la tubería de salida del tanque de nivel para instalar el transmisor de flujo de pasta.
- Acondicionamiento de la tubería de alimentación de vapor en la tercera sección de secadores, hacer un pequeño orificio de ¼ de pulgada para instalar el transmisor de presión.
- Acople de tacómetros en los rodillos de: la mesa de formación, las prensas, la calandra y el enrollador.

#### Área de instrumentos:

- Instalación de los siguientes instrumentos: transmisor de consistencia, transmisor de flujo de pasta y transmisor de presión de vapor.
- Instalación del sensor de peso. El personal que realice esta instalación deberá contar con la capacitación y supervisión de una persona certificada por el Instituto de Energía Nuclear y Salvaguardas en el manejo de fuentes radioactivas, ya que el sensor cuenta con una fuente radioactiva de kriptón 85 para efectos de la medición de peso del papel.
- Instalación del sensor de humedad.
- Instalación de los 13 transductores LVDT en cada uno de los actuadores neumáticos del surtidor de flujo de pasta a la salida de la caja principal.
- Instalación de tacómetros en las secciones de: la mesa de formación, las prensas, la calandra y el enrollador.

#### d) Cableado

Esta tarea le corresponde al área eléctrica en coordinación con el área de instrumentos. A continuación se especifican las actividades de cada área.

**Área eléctrica :**

- Armar la tubería e implementar el cableado necesario para la conexión de los transmisores, sensores y válvulas en cuanto a energía y señal.
- Realizar la conexión eléctrica del sistema a integrar, tomando como base los diagramas enviados por el fabricante de los diferentes equipos empleados.

**Área de instrumentos :**

- Realizar la conexión y pruebas de los siguientes equipos: válvulas instaladas, transmisores y sensores. La conexión para estos elementos será desde su punto de ubicación física hasta una caja de conexiones que se localiza en la sala de control.
- Entregar un reporte identificando cada uno de los puntos de conexión existente en la caja del mismo nombre, ubicada en la sala de control.

A continuación se presenta el reporte que contiene la descripción de la caja de conexión.

**REPORTE ELABORADO POR:** Personal del departamento de instrumentos

**CONTENIDO:** Información que describe la caja de conexiones ubicada en la sala de control de "MAQ II".

**DESCRIPCIÓN:** La caja de conexiones se localiza en el interior de la sala de control, consiste de 17 tablillas de conexión, identificadas como T0, T1, T2, . . . . T16, cada una de ellas contiene 10 puntos de conexión independientes, numerados del 1 al 10. El cable empleado para realizar las conexiones desde los instrumentos hasta la caja de conexión es calibre 22, compuesto por 3 líneas. Las señales que serán utilizadas se presentan en la tabla 5.2.

INSTRUMENTO	TIPO DE SEÑAL	RANGO DE SEÑAL	No. DE CABLE	LOCALIZACION
TRANSMISOR DE CONSISTENCIA	ANALOGICA	4 a 20 mA.	01	NEGRO T01 ROJO T02
TRANSMISOR DE FUJO DE PASTA	ANALÓGICA	4 a 20 mA.	02	NEGRO T03 ROJO T04

Tabla 5.2. Identificación de los cables de la caja de conexión. (Continúa)

TRANSMISOR PRESION	DE	ANALÓGICA	4 a 20 mA.	03	NEGRO T05 ROJO T06
SENSOR DE PESO		ANALÓGICA	0 a 10 VDC	04	NEGRO T07 ROJO T08
SENSOR HUMEDAD	DE	ANALÓGICA	0 a 10 VDC	05	NEGRO T09 ROJO T10
TACÓMETRO VELOCIDAD MESA FORMACIÓN	DE DE	DIGITAL	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	06	NEGRO T101 ROJO T102
TACÓMETRO VELOCIDAD PRENSAS	DE	DIGITAL	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	07	NEGRO T103 ROJO T104
TACÓMETRO VELOCIDAD CALANDRA	DE	DIGITAL	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	08	NEGRO T105 ROJO T106
TACÓMETRO VELOCIDAD ENROLLADOR	DE	DIGITAL	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	09	NEGRO T107 ROJO T108
TRANSDUCTOR LVDT 1		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	10	NEGRO T109 ROJO T110
TRANSDUCTOR LVDT 2		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	11	NEGRO T201 ROJO T202
TRANSDUCTOR LVDT 3		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	12	NEGRO T203 ROJO T204
TRANSDUCTOR LVDT 4		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	13	NEGRO T205 ROJO T206
TRANSDUCTOR LVDT 5		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	14	NEGRO T207 ROJO T208
TRANSDUCTOR LVDT 6		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	15	NEGRO T209 ROJO T210
TRANSDUCTOR LVDT 7		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	16	NEGRO T301 ROJO T302
TRANSDUCTOR LVDT 8		ANALÓGICA	0 a 24 VDC	17	NEGRO T303 ROJO T304

Tabla 5.2. Identificación de los cables de la caja de conexión.(Continúa)

TRANSDUCTOR LVDT 9	ANALÓGICA	0 a 24 VDC	18	NEGRO T305 ROJO T306
TRANSDUCTOR LVDT 10	ANALÓGICA	0 a 24 VDC	19	NEGRO T307 ROJO T308
TRANSDUCTOR LVDT 11	ANALÓGICA	0 a 24 VDC	20	NEGRO T309 ROJO T310
TRANSDUCTOR LVDT 12	ANALÓGICA	0 a 24 VDC	21	NEGRO T401 ROJO T402
TRANSDUCTOR LVDT 13	ANALÓGICA	0 a 24 VDC	22	NEGRO T403 ROJO T404

Tabla 5.2. Identificación de los cables de la caja de conexión.

Una vez que se han identificado los cables provenientes de cada uno de los transmisores, sensores, LVDT's y tacómetros, se procede a identificar las señales de control de los accionamientos correspondientes a las válvulas, transmisores y LVDT's, estos datos se encuentran indicados en la tabla 5.3.

ACCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL	Nº. CABLE DE	LOCALIZACIÓN DE LAS SEÑALES PARA ABRIR VALVULA	LOCALIZACIÓN DE LAS SEÑALES PARA CERRAR VALVULA
CONSISTENCIA	101	NEGRO T501 ROJO T502	VERDE T503 BLANCO T504
FLUJO DE PASTA	102	NEGRO T505 ROJO T506	VERDE T507 BLANCO T508
PRESION DE VAPOR	103	NEGRO T509 ROJO T510	VERDE T601 BLANCO T602
TRANSDUCTOR LVDT 1	110	NEGRO T603 ROJO T604	VERDE T605 BLANCO T606
TRANSDUCTOR LVDT 2	111	NEGRO T607 ROJO T608	VERDE T609 BLANCO T610
TRANSDUCTOR LVDT 3	112	NEGRO T701 ROJO T702	VERDE T703 BLANCO T704
TRANSDUCTOR LVDT 4	113	NEGRO T705 ROJO T706	VERDE T707 BLANCO T708
TRANSDUCTOR LVDT 5	114	NEGRO T708 ROJO T709	VERDE T801 BLANCO T802

Tabla 5.3. Identificación de señales de control. (Continúa)

TRANSDUCTOR LVDT 6	115	NEGRO T803 ROJO T804	VERDE T805 BLANCO T806
TRANSDUCTOR LVDT 7	116	NEGRO T807 ROJO T808	VERDE T809 BLANCO T810
TRANSDUCTOR LVDT 8	117	NEGRO T901 ROJO T902	VERDE T903 BLANCO T904
TRANSDUCTOR LVDT 9	118	NEGRO T905 ROJO T906	VERDE T907 BLANCO T908
TRANSDUCTOR LVDT 10	119	NEGRO T909 ROJO T910	VERDE T1001 BLANCO T1002
TRANSDUCTOR LVDT 11	120	NEGRO T1003 ROJO T1004	VERDE T1005 BLANCO T1006
TRANSDUCTOR LVDT 12	121	NEGRO T1007 ROJO T1008	VERDE T1009 BLANCO T1010
TRANSDUCTOR LVDT 13	122	NEGRO T1101 ROJO T1102	VERDE T1103 BLANCO T1104

**Tabla 5.3. Identificación de señales de control.**

El cable empleado para comunicar la caja de conexiones hacia la computadora es de calibre 22 y está compuesto por 19 líneas.

Una vez que han sido instalados todos los instrumentos de medición, las válvulas, el marco de medición junto con los sensores, se procede a la integración del equipo de cómputo.

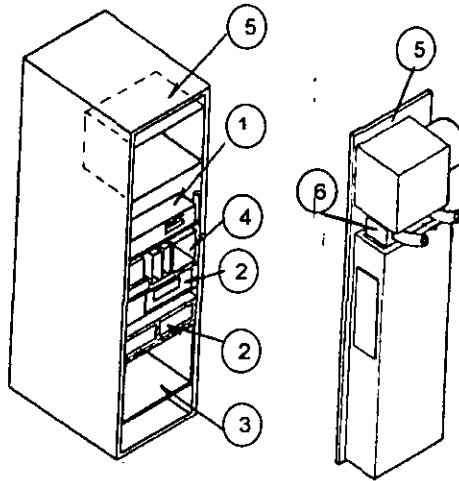
### 5.2.2. Integración del equipo de cómputo

El equipo de cómputo contiene los siguientes elementos:

- Un gabinete principal.
- Una estación de operación para el personal de ingeniería.
- Una estación de operación para el personal de producción.
- Un panel de conexiones.

**a) Gabinete principal**

El gabinete principal del equipo de cómputo se compone de una estructura metálica de acero y presenta 6 divisiones internas. La figura 5.4 presenta el gabinete principal del equipo de cómputo.



**Figura 5.5. Gabinete principal.**

Las divisiones internas, con numeración del 1 al 4, están destinadas para el alojamiento de los diferentes dispositivos que componen el equipo, los que serán presentados posteriormente. En la figura anterior se pueden distinguir los siguientes elementos:

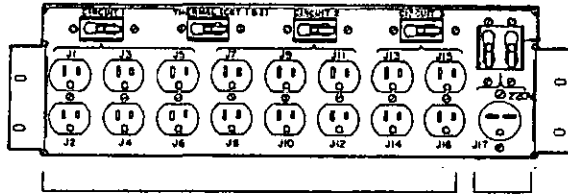
1. Un centro local de carga.
2. Una computadora constituida por seis tarjetas electrónicas sobre un *bus* de interconexión.
3. Un módulo programable formado por cinco tarjetas electrónicas sobre un *bus* de interconexión.
4. Un panel de conexiones.
5. Unidad descontaminadora.
6. Sistema de aire acondicionado.

Los elementos indicados con los números 5 y 6 se encuentran en la puerta del gabinete y corresponden a la unidad descontaminadora y al sistema de aire acondicionado respectivamente.

Uno de los elementos más importantes del equipo de cómputo es la alimentación de energía, a ésta se le denomina centro de carga local y se encuentra ubicado en la sección marcada con el número 1 y que a continuación se describe.

**b) Centro de carga local**

En la figura 5.6. se presenta el centro de carga, que está situado en el interior del gabinete principal de la computadora. El centro de carga se emplea para distribuir de manera uniforme la energía necesaria para cada uno de los elementos que integran la computadora.



16 TOMAS DE 115 VAC

UNA  
TOMA DE  
220 VDC

Figura 5.6. Centro de carga local.

En la figura se observa el centro de carga local del equipo de cómputo, en el cual se encuentran 16 tomas de 115 VAC, distribuidos en tres grupos, cada uno de ellos controlados por su propio interruptor térmico que es accionado cuando recibe una carga mayor a los 15 A; también tiene una toma de 220 VDC, con su correspondiente interruptor térmico que actúa cuando recibe una carga mayor a los 30 A, contiene también un interruptor marcado con la leyenda *THERMAL* y es disparado interrumpiendo la energía en todas sus tomas, cuando un sensor de temperatura instalado en el interior del gabinete principal sobrepasa los 20 °C.

Las tomas marcadas con J1 hasta J6 serán destinadas para la conexión de la computadora y elementos necesarios para el funcionamiento de ella. Las tomas marcadas con J7 hasta J12 serán destinadas para la conexión del módulo programable



y el equipo necesario para su funcionamiento, las tomas marcadas con J13 hasta J16 serán destinadas para futuras aplicaciones, la toma marcada con J17 será destinada para conectar el aire acondicionado y la unidad descontaminadora, que se encuentran unidas en un mismo enchufe.

### c) Computadora

La computadora está constituida por un gabinete instalado en la sección indicada con el número 2, ver figura 5.5, y está compuesto por: un *bus* de interconexiones que presenta la siguiente distribución, 16 líneas destinadas para datos, 24 líneas destinadas para direccionar, 17 líneas de control y 5 líneas para manejar señales de tiempos. Contiene también 10 ranuras para insertar sus correspondientes tarjetas electrónicas, presentando la siguiente distribución, 6 tarjetas electrónicas empleas para su funcionamiento básico, una de sus ranuras es usada para expandir el *bus* y 3 ranuras destinadas para expansión de memoria. Las 6 tarjetas para el funcionamiento básico de la computadora tienen una posición definida de acuerdo a la función que realizan, numerando las ranuras en un orden de arriba hacia abajo. A la primer ranura en la parte superior le corresponde el número 1, a la segunda el número 2 y así sucesivamente hasta llegar a la última ranura que le corresponde el número 10, ahora de acuerdo a la función de la tarjeta y a la definición de posición en el *bus* se procede al reconocimiento de cada una de ellas por su nombre, explicando su función y características generales que el fabricante proporciona.

En la figura 5.7 se observa el *chasis* de la computadora el cual en la parte interna hasta el fondo contiene el bus de interconexiones.

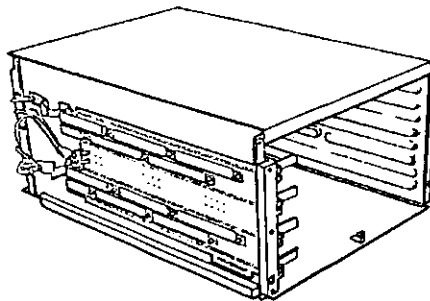


Figura 5.7. Chasis de la computadora.

La conexión del equipo de cómputo se realiza según la secuencia presentada a continuación.

En la figura 5.8 podemos observar la forma en la que debe ser integrado el *chasis* de la computadora en el gabinete principal.

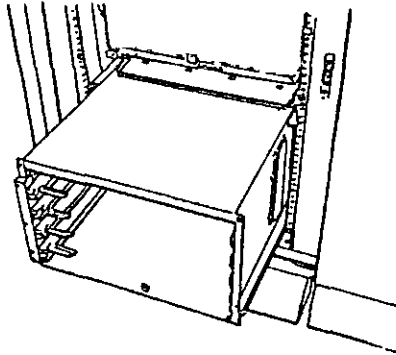


Figura 5.8. Chasis de la computadora.

Una vez que ha sido integrado el *chasis* al gabinete principal, se procede a integrarle su fuente de voltaje que proporciona  $+5, \pm 12$  VDC, necesarios para el funcionamiento de la computadora, esta fuente de alimentación va montada en la parte trasera del *chasis* como lo muestra la figura 5.9.

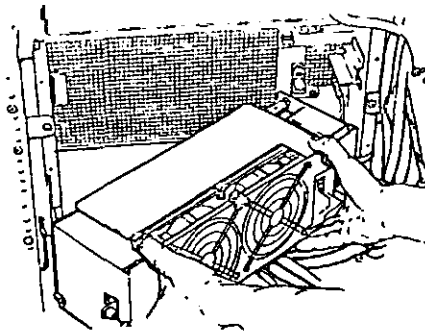


Figura 5.9. Instalación de la fuente de voltaje.

Cuando se ha integrado la fuente de voltaje se procede a insertar el conector marcado con el No. 1 en el enchufe marcado con el No. 2, mostrado en la figura 5.10, el conector contiene un cable, que se describe a continuación.

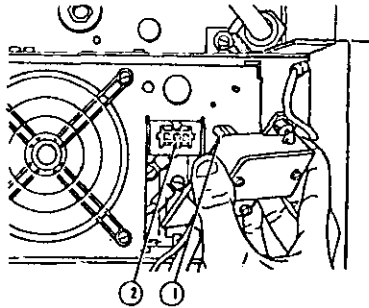


Figura 5.10. Forma de insertar el conector.

El cable mostrado en la figura 5.11 es empleado para conectar la computadora al centro de carga local, mediante la clavija que se encuentra en uno de sus extremos. La energía permitida que especifica el fabricante para alimentar la computadora es de 115 VAC y el consumo de corriente es de 4 A. Elegimos el primer grupo de tomas para conectar la computadora y enchufamos la clavija en J1.

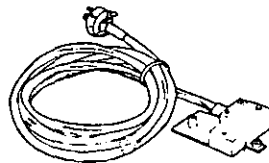


Figura 5.11. Cable para la conexión entre la computadora y el centro de carga local.

Continuamos con la conexión del equipo de cómputo insertando cada una de las siguientes tarjetas electrónicas en su correspondiente posición dentro del *chasis* que se ha mostrado.

#### d) Tarjetas electrónicas de la computadora

Las tarjetas electrónicas que maneja la computadora son: terminadora, unidad central de procesamiento, controladora múltiple de dispositivos, controladora de memoria y terminadora.

1. **Terminadora.** Esta es una tarjeta electrónica que tiene como función definir el inicio del *bus*. Quizás exista una contradicción en el nombre, por qué si es terminadora define el inicio, esto es porque el ancho del bus tiene la posibilidad de expandirse, permitiendo integrar una computadora adecuada a las necesidades del proceso de fabricación de papel. La ventaja de esta estructura es que no se tiene que cambiar de *bus* en cuanto el proceso de fabricación demande mayor capacidad de tarjetas electrónicas instaladas para su funcionamiento. Esta tarjeta ocupa la primer posición en el *bus* de comunicación tal como se muestra en la figura 5.12.

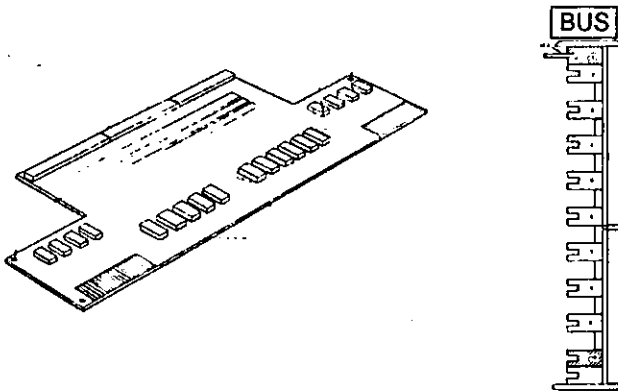


Figura 5.12. Tarjeta electrónica terminadora.

2. **Unidad Central de Procesamiento (CPU, Central Processor Unit).** Esta tarjeta se encarga de administrar el funcionamiento de la computadora, mediante el procesamiento de la información recibida o almacenada, su constitución electrónica soporta procesadores de la familia *Celeron*, que presentan la siguiente escala de velocidad 633 / 667 / 700 / 733/ 766 / 800 MHz, apoyados en un paquete de 128Kb de memoria exclusiva. El equipo de cómputo que ofrece el fabricante contienen un procesador que trabaja a una velocidad de 633 MHz, suficientes para el funcionamiento propio del equipo y deja a criterio del usuario la necesidad de instalar un procesador de mayor velocidad el cual es suministrado por separado. Por el momento la aplicación no requiere mayor velocidad de procesamiento ya que la carga de trabajo es considerada como mínima, puesto que la computadora se encargará de realizar tareas supervisorias distribuyendo el trabajo a un módulo programable el que se describirá posteriormente. La figura 5.13 muestra la tarjeta electrónica denominada *CPU*, unidad de procesamiento central.

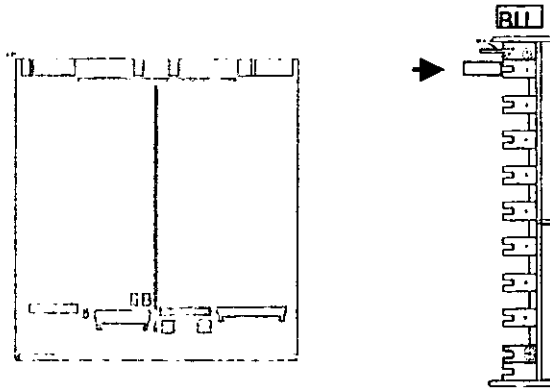


Figura 5.13. Tarjeta electrónica CPU.

### 3. Controladora múltiple de dispositivos 1 (*MDC, Multiple Device Controller*).

Esta tarjeta electrónica se encarga de establecer la comunicación entre el *CPU* y los dispositivos externos mediante sus adaptadores de comunicación, los cuales son diferentes según el dispositivo que sea necesario comunicar. La tarjeta controladora soporta cuatro adaptadores de comunicación que fueron identificados por el fabricante con los siguientes números: el primer adaptador tiene el número 400 y está configurado por el mismo fabricante para establecer una comunicación mediante el protocolo serie RS232 estándar, en el que conectaremos una computadora portátil, obteniendo desde este punto el control total de nuestro sistema integrado para la automatización del proceso de fabricación. El segundo adaptador tiene el número 480 y está configurado para conectar una terminal de comunicación integrada por un monitor y su teclado, la cual es exclusiva para el uso del personal de ingeniería, ya que en ella se pueden realizar tareas destinadas al mantenimiento o calibraciones de equipo, pero no puede realizar cambios en la programación de las tareas del equipo implementado. El tercer adaptador tiene el número 500 y está configurado para conectar una estación del operador, también conocida como estación de proceso, destinada para el uso del personal de operación en la que sólo puede consultar y cambiar los valores límites de las variables del proceso. El cuarto adaptador tiene el número 580 y está configurado para conectar otro monitor de proceso, el cual puede ser remoto. Para nuestro diseño este adaptador queda sin conexión, marcado como "para futuras aplicaciones", ya que no es requerido por el proceso en estos momentos.

La tarjeta electrónica *MDC* tiene la capacidad de enlazarse con dispositivos externos que acepten las siguientes velocidades de comunicación: 800 / 1200 / 1760 / 2152 / 2400 / 4800 / 9600 / 14400 / 19200 / 28800 / 31500 / 38400 / 57600 *Bauds*. Nosotros usaremos una velocidad media de transmisión, seleccionando

9600 baud velocidad bastante aceptable, ya que el equipo de cómputo transmitirá información destinada a tareas rutinarias las cuales no presentan cambios constantes en gran magnitud. La selección de los 9600 *baud* se realiza mediante un pequeño *switch* giratorio que contiene la tarjeta *MDC*, mostrada en la figura 5.14, con la siguiente correspondencia de posición:

- 0 - 800
- 1 - 1200
- 2 - 1760
- 3 - 2152
- 4 - 2400
- 5 - 4800
- 6 - 9600
- 7 - 14400
- 8 - 19200
- 9 - 28800
- A - 31500
- B - 38400
- C - 57600

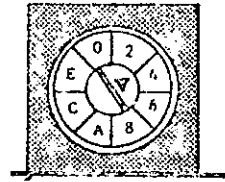


Figura 5.14. Switch giratorio.

4. **Controlador Múltiple de Dispositivos 2 (MDC).** Esta tarjeta electrónica tiene la misma descripción que la anterior pero es necesario mencionarla ya que a ella le corresponde esta posición y es utilizada para conectar los siguientes adaptadores: su primer adaptador está identificado con el número 600 y está configurado para conectar el módulo programable; el segundo adaptador está identificado con el número 680 y está configurado para conectar el monitor de proceso; los siguientes adaptadores identificados con los números 700 y 780 quedan sin conexión, podrían ser empleados para futuras aplicaciones. La figura 5.15 muestra las tarjetas *MDC*.

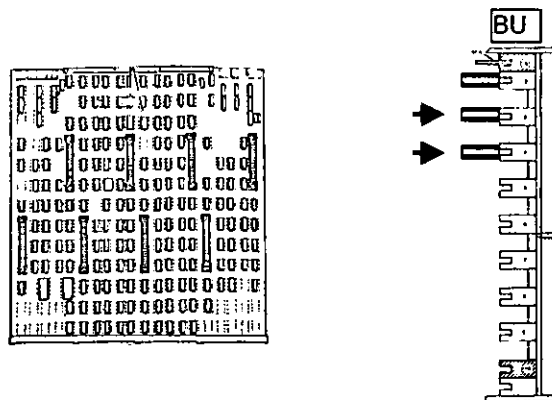


Figura 5.15. Tarjeta electrónica MDC.

- 5. **Controladora de Memoria (MEM).** Esta tarjeta electrónica, mostrada en la figura 5.16, contiene cuatro posiciones para instalar paquetes de memoria que pueden ser de 16 / 32 / 64 / 128 / 256 Mb (*Mega bytes*), con un acceso de 8 nseg. La instalación de estos paquetes debe realizarse con capacidades iguales, es decir, no es posible realizar combinaciones de paquetes, si son instalados paquetes de 16Mb los cuatro paquetes deberán ser de 16Mb. La computadora necesita para la carga inicial 612 kbytes y el programa de aplicación necesita para su funcionamiento 16 Mb, el fabricante proporciona el equipo con un paquete de 64Mb, más que suficiente para el funcionamiento adecuado de la computadora.

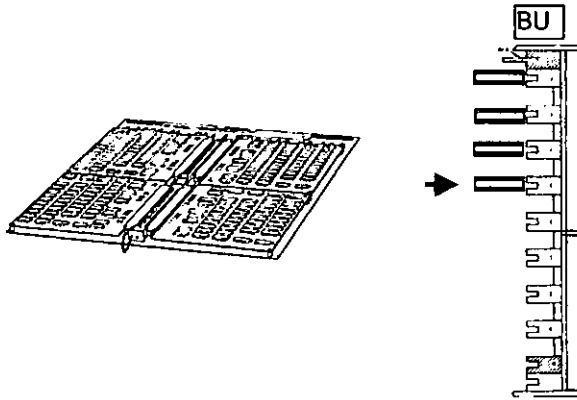


Figura 5.16. Tarjeta electrónica de memoria MEM.

- 6. **Terminadora.** Esta es una tarjeta electrónica, mostrada en la figura 5.17, que tiene como función definir el final del bus, lo cual permite enmarcar el ancho del mismo, esta tarjeta electrónica y la número uno están constituidas por resistencias que simulan la carga de una tarjeta electrónica y regresan la señal sin alteración hacia el mismo bus.

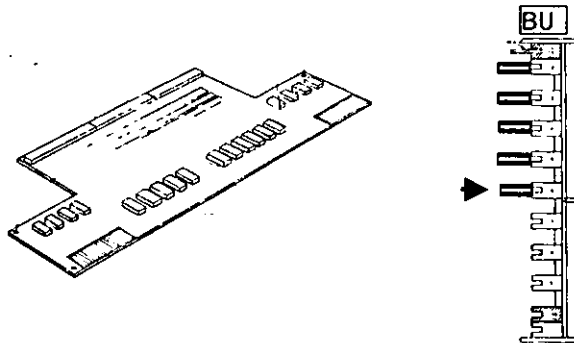
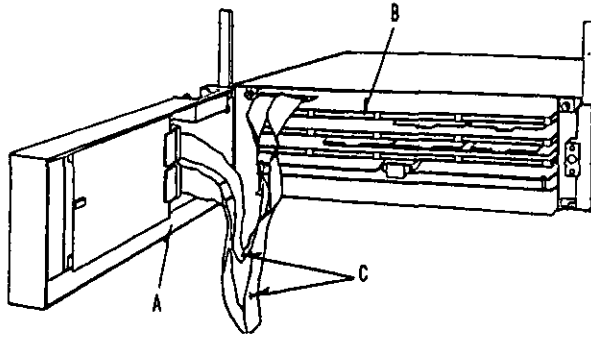


Figura 5.17. Tarjeta electrónica terminadora.

Una vez finalizada la instalación de los componentes de la computadora, ésta queda conformada según se muestra en la figura 5.18.



A. Conectores

B Tarjetas electrónicas

C: cables

Figura 5.18. Computadora.

#### e) Módulo programable

El módulo programable será empleado para el procesamiento de las señales analógicas y digitales de entrada y salida del proceso, éste se encuentra constituido por un *bus* de interconexión con la siguiente distribución: 16 líneas destinadas para datos, 16 líneas para direccionar, 8 líneas de interrupciones, 14 líneas de control y 10 ranuras para insertar tarjetas electrónicas. Dichas tarjetas electrónicas al igual que la computadora contienen una posición específica, a continuación se describen cada una de ellas en su correspondiente orden.

En la figura 5.19 se muestra el *chasis* del módulo programable, en el cual internamente se encuentra el *bus* de comunicación para el módulo, junto al *chasis* podemos observar un ensamble que consta de 4 fuentes de voltaje de energía directa: la más grande es de 5 VDC a 25 A, la que le sigue en orden descendente es de + / - 15 VDC a 2 A, la siguiente es de + / - 12 VDC a 2 A, y la última es de 5 VDC a .75 A, todas ellas son utilizadas para energizar el módulo y se encuentran ubicadas dentro del gabinete principal.



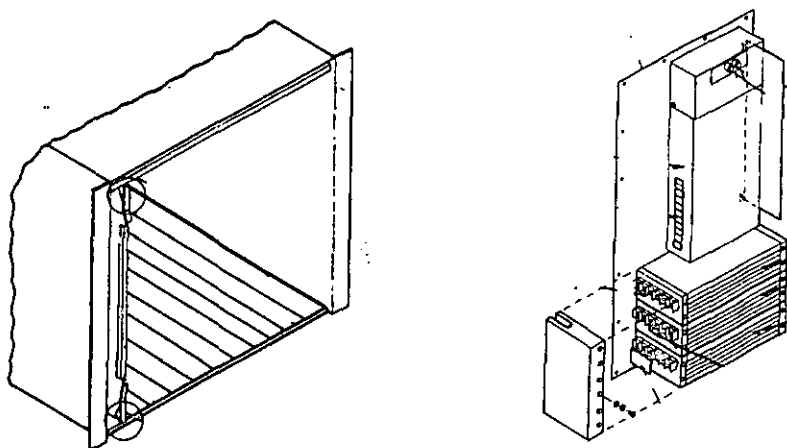


Figura 5.19. Chasis del módulo programable.

1. **Unidad Central de Procesamiento (CPU).** Esta tarjeta electrónica contiene instalado un procesador de la marca *Celeron*, con una velocidad de procesamiento de 800 MHz y 128 kbytes de memoria como soporte, contiene integradas dos ranuras en donde son insertados paquetes de memoria, esta tarjeta es proporcionada por el proveedor con un paquete de memoria de 256 Mb. Contiene integrados también tres puertos de comunicación serie, RS 232, uno estándar (RS 232) y dos *serial link* 0 a 20 mA, estos dos últimos contienen las mismas descripciones del protocolo estándar con la diferencia de que utiliza 0 mA para definir el estado lógico bajo y 20 mA para definir el estado lógico alto; su alcance de transmisión está garantizado por el fabricante para cubrir 150 m de longitud máxima, en la que pudiéramos colocar un elemento de nuestra integración. Nuestro elemento más distante es el control de la válvula empleada en la dilución de pasta, conocida como válvula de control de consistencia, que se encuentra a una distancia de 100 m, pero no lleva este tipo de comunicación. La estructura física de esta tarjeta electrónica presenta dos series de terminales para su conexión, la primera es utilizada para conectarse al *bus* de comunicación y la segunda contiene los tres puertos de comunicación serie RS 232. Su funcionamiento es encargado de manipular las señales analógicas y digitales provenientes del proceso de fabricación, además de controlar el *bus* de comunicación interno y la comunicación con la computadora. La figura 5.20 muestra dicha descripción.

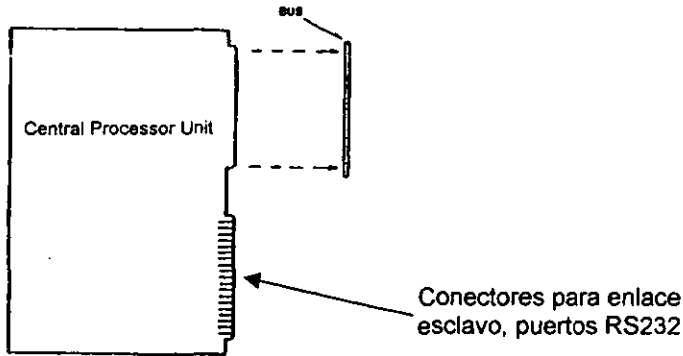


Figura 5.20. Tarjeta electrónica CPU del módulo programable.

2. **Interfaz Procesadora 1 (PRI, *Process Interface* )**. Esta tarjeta electrónica permite la entrada y salida de 10 señales digitales, 16 entradas analógicas y 8 salidas analógicas. Las entradas y salidas digitales son manipuladas a través de circuitos opto-transistores, las entradas analógicas son manipuladas por un convertidor analógico/digital y las salidas analógicas por un convertidor digital/analógico. Su estructura física presenta dos series de terminales para su conexión, la primera es utilizada para conectarse al *bus* de comunicaciones y la segunda es utilizada para conectar las señales de entrada / salida con el proceso de fabricación.
  
3. **Interfaz Procesadora 2 (PRI)**. Esta tarjeta electrónica contiene la misma configuración que la anterior, siendo conveniente mencionarla ya que ocupa esta posición y es empleada para el control de los 13 LVDT que controlan el flujo de pasta en la salida de la caja principal. La figura 5.21 muestra la tarjeta.

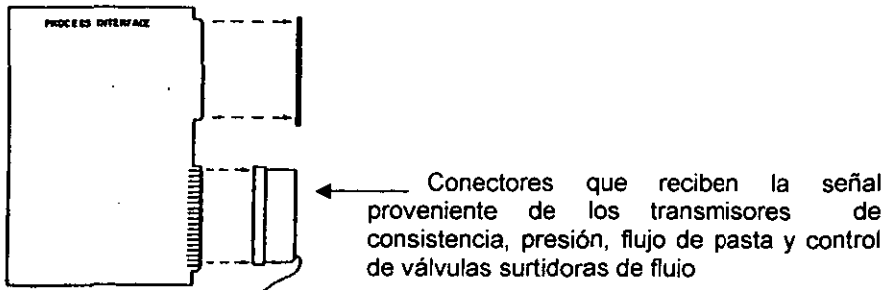


Figura 5.21. Tarjeta electrónica PRI del módulo programable.

4. **Interfaz contadora de la tasa de pulsos (PRC, Pulse Rate Counter).** Esta es una tarjeta electrónica y se emplea como interfaz con las señales de los tacómetros, la figura 5.22 muestra su construcción.

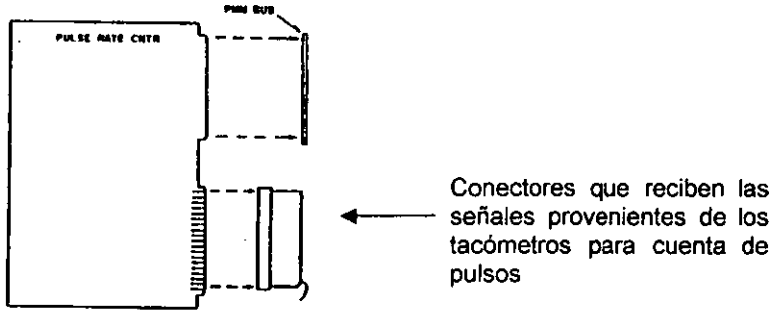


Figura 5.22. Tarjeta electrónica PRC del módulo programable.

5. **Interfaz del escáner para el funcionamiento de los sensores (SSI, Sensor Scanner Interface).** Esta tarjeta electrónica es la interfaz para las señales del sensor de peso y el sensor de humedad, así como para controlar el recorrido del marco de medición. La señal de peso tiene una señal analógica de 0 a 10 volts, al igual que la señal de humedad, estas señales son recibidas por un convertidor analógico/digital, las cuales una vez procesadas son entregadas, para el control del marco, por un convertidor digital/analógico. Su estructura física presenta dos series de terminales para su conexión: la primera es utilizada para conectarse al bus de comunicación y la segunda es utilizada para conectar las señales del sensor de peso y humedad, así como las señales de control del marco de medición. La figura 5.23 muestra la tarjeta.

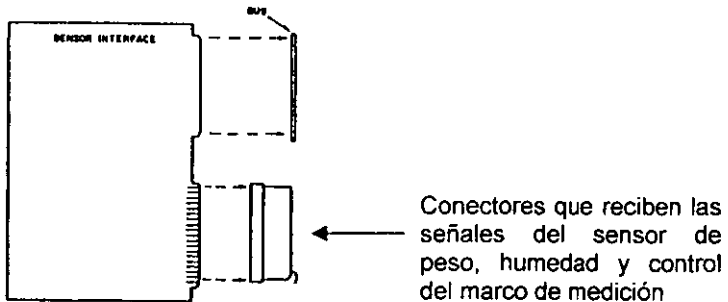


Figura 5.23. Tarjeta electrónica SSI del módulo programable.

Como podemos observar, en la figura 5.24, el módulo programable presenta una arquitectura vertical, integrado por 5 tarjetas electrónicas y 5 posiciones libres para futuras aplicaciones.

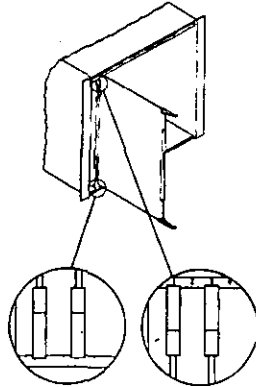


Figura 5.24. Integración del módulo programable.

**f) Panel de conexiones**

La comunicación entre los equipos de cómputo será realizada por medio de cables y conectores, que serán armados en el momento en que sea necesaria la conexión. La trayectoria de los cables quedará definida para todos sus casos, primero especificando su posición de origen y segundo especificando su posición destino dentro de un panel de conexiones que será instalado en la parte trasera del gabinete principal, panel de conexiones que a continuación se describe. El panel de conexiones es un soporte con cavidades suficientes para fijar cada uno de los conectores empleados, el panel de conexiones es mostrado en la figura 5.25.

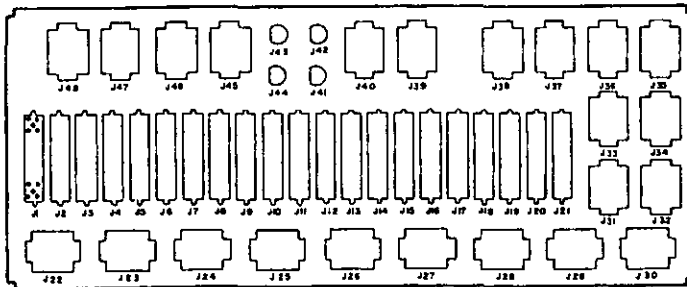


Figura 5.25. Panel de conexiones.

El panel de conexiones contiene tres grupos que comprenden diferentes formas de conector: el primer grupo lo forman las cavidades marcadas con J1 hasta J21, y son destinados para fijar conectores planos; el segundo grupo se encuentra formado por las cavidades marcadas con J 41 hasta J 44, y son destinados para conectores circulares; el tercer grupo lo forman las cavidades marcadas con J22 hasta J40 y J45 hasta J48, y son destinados para conectores cuadrados. Cabe mencionar que no necesariamente todas estas cavidades serán utilizadas.

Ahora procederemos a realizar las conexiones, iniciamos con la descripción de las conexiones en la computadora. Los adaptadores de comunicación que se encuentran instalados en las tarjetas electrónicas *MDC 1* y *MDC 2*, integradas en la computadora, presentan un conector plano hembra, éste contiene 25 terminales, y se encuentra localizado en la parte frontal de las tarjetas adaptadoras. Una vez realizado el armado de los tres primeros conectores que serán conectados, desde los tres primeros adaptadores, identificados con los siguientes números: 400, 480, 500, para la *MDC 1*, y 600,680,700, para la *MDC 2*, que llegarán al panel de conexiones en las posiciones identificadas como J1, J2, J3, se procederá a configurarlos. Mediante esta configuración se permitirá establecer el protocolo de comunicación RS232, usando dos grupos de señales, uno corresponde a la línea de datos y el otro a las líneas de control. En la figura 5.26 se puede observar la distribución de las terminales correspondientes al conector.

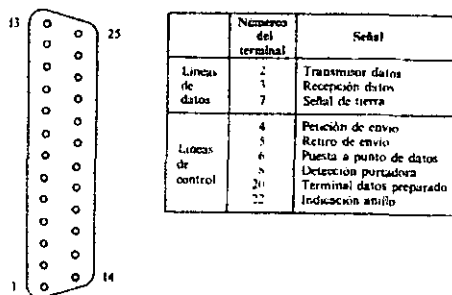


Figura 5.26. Identificación de terminales del puerto de comunicación RS 232.

El cable es conducido a través de canaletas internas que tiene el gabinete principal, y llega cerca del panel de conexiones en donde será instalado el conector correspondiente.

El propósito de esta conexión es dejar disponible un conector fijo en el panel de conexiones con el propósito de enlazar la comunicación entre los equipos que integran la computadora y de que ésta sea ordenada y de cómodo acceso para el usuario. En la figura 5.27 se muestra como quedan las conexiones entre los adaptadores de comunicaciones y el panel de conexiones.

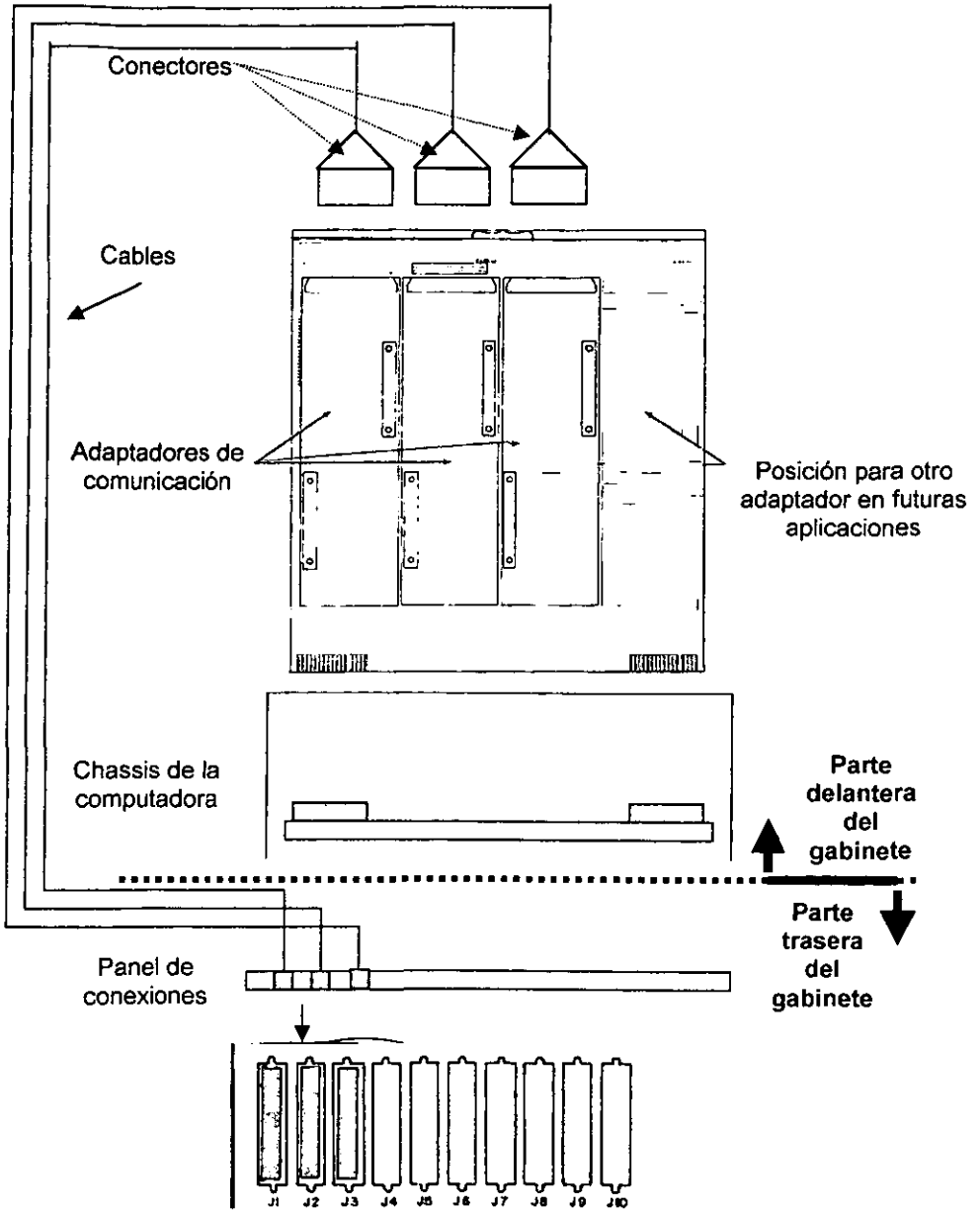


Figura 5.27. Esquema de conexiones entre los adaptadores y el panel de control.

En la tabla 5.4. se muestran las distribuciones correspondientes, en el panel de conexiones, a los *MDC1* y *MDC2*.

Adaptador de comunicación montado sobre la <i>MDC 1</i>	Ubicación en el panel de conexiones	Equipo que se conecta
Adaptador No. 400	J1	Computadora portátil, uso exclusivo para la instalación, del sistema.
Adaptador No. 480	J2	Terminal para ingeniería.
Adaptador No. 500	J3	Terminal para producción.
Adaptador No. 580	J4	Futura aplicación
<b>Adaptador de comunicación montados sobre la <i>MDC 2</i></b>		
Adaptador No. 600	J5	Módulo programable, conectado a un puerto serie
Adaptador No. 680	J6	Impresora conectada a un puerto paralelo
Adaptador No. 700	J7	Futura aplicación
Adaptador No. 780	J8	Futura aplicación

Tabla 5.4. Distribuciones correspondientes entre el panel de control y las tarjetas MDC.

Para la conexión del módulo programable nos apoyaremos en la figura 5.28, la cual muestra una vista lateral del *chasis* del módulo programable, identificando tres de sus partes.

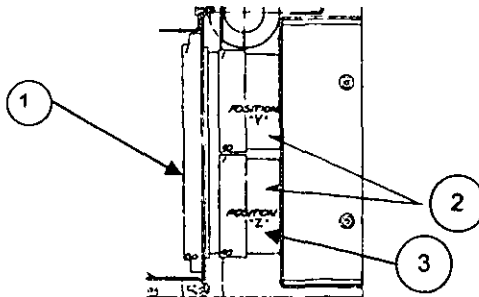


Figura 5.28. Vista lateral del *chasis*.

En esta figura se indica con el número 1 la parte en donde son insertadas las tarjetas electrónicas correspondientes al módulo, parte a la cual se tiene acceso por el frente del gabinete; por la parte trasera del gabinete, indicada con el número 2, podemos observar que se encuentra dividido en dos posiciones, la posición "Y" y la posición "Z". La posición "Y" corresponde al *bus* que se ha descrito con anterioridad y la posición "Z" hemos mencionado que será la sección en donde se conecten las señales de los elementos que se instalaron para el control del proceso de fabricación.

La posición Z se encuentra compuesta por 80 terminales. Al insertar la tarjeta electrónica a cada punto le corresponde una terminal en el conector que se encuentra indicado con el número 3 en la figura 5.28. La tabla 5.5 muestra la asignación de cada terminal, necesario para armar los cables de conexión.

Tarjeta electrónica PRI No. de terminal	Señal digital de entrada	Señal digital de salida
1 2	Señal Referencia	N/A (no aplica)
3 4	Señal Referencia	N/A
5 6	Señal Referencia	N/A
7 8	Señal Referencia	N/A
9 10	Señal Referencia	N/A
11 12	Señal Referencia	N/A
13 14	Señal Referencia	N/A
15 16	Señal Referencia	N/A
17 18	Señal Referencia	N/A
19 20	Señal Referencia	N/A

Tabla 5.5. Asignaciones de las terminales de la tarjeta PRI. (Continúa)



21	N/A	Común
22		Común
23	N/A	Señal
24		Señal
25	N/A	Señal
26		Señal
27	N/A	Señal
28		Señal
29	N/A	Señal
30		Señal
31	N/A	Señal
32		Señal
	<b>Señales analógicas de entrada</b>	<b>Señales analógicas de salida</b>
33	Señal	
34	Referencia	N/A
35	Señal	
36	Referencia	N/A
37	Señal	
38	Referencia	N/A
39	Señal	
40	Referencia	N/A
41	Señal	
42	Referencia	N/A
43	Señal	
44	Referencia	N/A
45	Señal	
46	Referencia	N/A
47	Señal	
48	Referencia	N/A
49	Señal	
50	Referencia	N/A
51	Señal	
52	Referencia	N/A
53	Señal	
54	Referencia	N/A

Tabla 5.5. Asignaciones de las terminales de la tarjeta *PRI*. (Continúa)

55 56	Señal Referencia	N/A
57 58	Señal Referencia	N/A
59 60	Señal Referencia	N/A
61 62	Señal Referencia	N/A
63 64	Señal Referencia	N/A
65 66	N/A	Señal Referencia
67 68	N/A	Señal Referencia
69 70	N/A	Señal Referencia
71 72	N/A	Señal Referencia
73 74	N/A	Señal Referencia
75 76	N/A	Señal Referencia
77 78	N/A	Señal Referencia
79 80	N/A	Señal Referencia

**Tabla 5.5. Asignaciones de las terminales de la tarjeta PRI.**

Para llevar las señales indicadas en la tabla anterior, al panel de conexiones, utilizaremos conectores especiales que nos permitan agrupar las 80 terminales, esto con la finalidad de no tener un cable voluminoso. Para ello se integran cables diversos por cada grupo de entradas y salidas, ver figura 5.29.

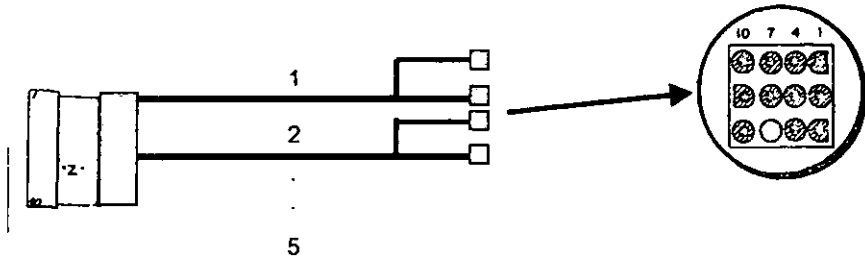


Figura 5.29. Conectores para el panel de conexiones.

Este procedimiento será empleado para armar todos los conectores correspondientes al módulo programable. En las tablas 5.6, 5.7 y 5.8, se presenta la asignación de terminales y conectores, necesarios en la integración de las tarjetas de interfaz *PRI*, *PRC* y *SSI*.

No. De terminal en el conector de posición Z correspondiente a la interfaz PRI	Identificación de conector cuadrado en el panel de conexiones
1 al 12	J22
13 al 20	J23
21 al 32	J25
33 al 44	J26
45 al 56	J27
57 al 64	J28
65 al 76	J29
77 al 78	J30
79 al 80	J31

Tabla 5.6. Asignación de terminales en la tarjeta PRI.

No. de terminal en el conector de posición Z correspondiente a la interfaz PRC	Identificación de conector cuadrado en el panel de conexiones	
1	Señal	J32
3	Referencia	
5	Señal	J32
7	Referencia	
9	Señal	J32
11	Referencia	
13	Señal	J32
15	Referencia	
17	Señal	J32
19	Referencia	
21	Señal	J32
23	Referencia	

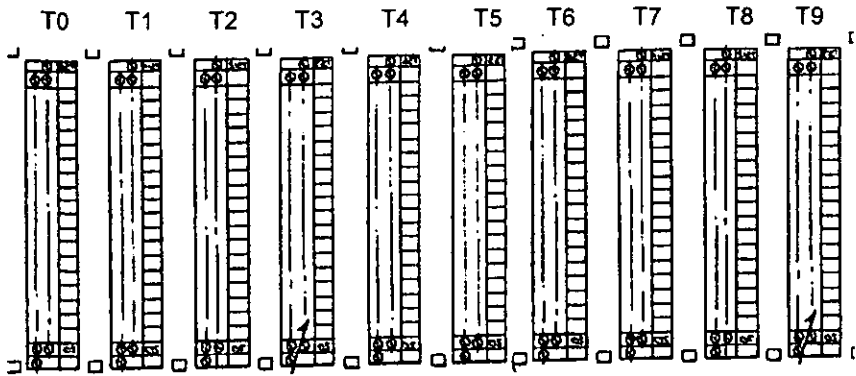
Tabla 5.7. Asignación de terminales de la tarjeta PRC.

No. de terminal en el conector de posición Z correspondiente a la interfaz SSI	Identificación de conector cuadrado en el panel de conexiones	
41	Movimiento marco de medición	J33
42		
46	Señal de Peso	J33
47		
48	Señal de Humedad	J33
49		

Tabla 5.8. Asignación de terminales de la tarjeta SSI.

Cabe mencionar que los conectores J34 hasta J40, J41 hasta J44 y J45 hasta J48, no están conectados, quedando disponibles para alguna futura aplicación.

Para finalizar la integración del *hardware* se realizará la conexión entre la caja de unión y el panel de conexiones, en la figura 5.30 se muestra esta conexión y posteriormente presentamos la tabla 5.9, que especifica las conexiones finales.



Sección de la caja de unión

Sección del panel de conexiones

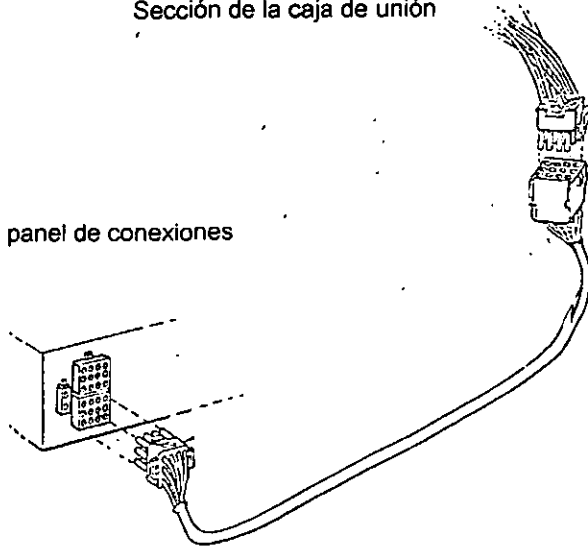


Figura 5.30. Conexión entre la caja de unión y el panel de conexiones.

En la figura anterior se pueden observar las tablillas de conexión que contiene la caja de unión y sus conectores, además de los cables que llegan al panel de conexión.

INSTRUMENTO		No DE CONECTOR EN PANEL DE CONEXIÓN	RANGO DE SEÑAL	No. DE CABLE	LOCALIZACIÓN EN LA CAJA DE UNIÓN
TRANSMISOR DE CONSISTENCIA	DE	J26	4 a 20 mA.	01	NEGRO T01 ROJO T02
TRANSMISOR DE FUJO DE PASTA	DE	J26	4 a 20 mA.	02	NEGRO T03 ROJO T04
TRANSMISOR DE PRESION	DE	J26	4 a 20 mA.	03	NEGRO T05 ROJO T06
SENSOR DE PESO		J26	0 a 10 VDC	04	NEGRO T07 ROJO T08
SENSOR DE HUMEDAD	DE	J26	0 a 10 VDC	05	NEGRO T09 ROJO T10
TACÓMETRO DE VELOCIDAD DE MESA DE FORMACIÓN	DE	J32	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	06	NEGRO T101 ROJO T102
TACÓMETRO DE VELOCIDAD DE PRENSAS	DE	J32	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	07	NEGRO T103 ROJO T104
TACÓMETRO DE VELOCIDAD DE CALANDRA	DE	J32	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	08	NEGRO T105 ROJO T106
TACÓMETRO DE VELOCIDAD DE ENROLLADOR	DE	J32	0 VDC = nivel lógico bajo 24 VDC = nivel lógico alto	09	NEGRO T107 ROJO T108
TRANSDUCTOR LVDT 1		J27	0 a 24 VDC	10	NEGRO T109 ROJO T110
TRANSDUCTOR LVDT 2		J27	0 a 24 VDC	11	NEGRO T201 ROJO T202
TRANSDUCTOR LVDT 3		J27	0 a 24 VDC	12	NEGRO T203 ROJO T204
TRANSDUCTOR LVDT 4		J28	0 a 24 VDC	13	NEGRO T205 ROJO T206

Tabla 5.9. Especificación de conexiones finales. (Continúa)

TRANSDUCTOR LVDT 5	J29	0 a 24 VDC	14	NEGRO T207 ROJO T208
TRANSDUCTOR LVDT 6	J29	0 a 24 VDC	15	NEGRO T209 ROJO T210
TRANSDUCTOR LVDT 7	J29	0 a 24 VDC	16	NEGRO T301 ROJO T302
TRANSDUCTOR LVDT 8	J29	0 a 24 VDC	17	NEGRO T303 ROJO T304
TRANSDUCTOR LVDT 9	J30	0 a 24 VDC	18	NEGRO T305 ROJO T306
TRANSDUCTOR LVDT 10	J30	0 a 24 VDC	19	NEGRO T307 ROJO T308
TRANSDUCTOR LVDT 11	J30	0 a 24 VDC	20	NEGRO T309 ROJO T310
TRANSDUCTOR LVDT 12	J30	0 a 24 VDC	21	NEGRO T401 ROJO T402
TRANSDUCTOR LVDT 13	J30	0 a 24 VDC	22	NEGRO T403 ROJO T404

Tabla 5.9. Especificación de conexiones finales.

Con esta tabla se concluye la integración del equipo en lo que se refiere al *hardware*, ahora procedemos a cargar el programa de aplicación.

### 5.2.3. Carga del programa de aplicación

Para ello disponemos de 3 discos de instalación, que contienen la siguiente información:

El disco de acceso número 1 será cargado en una computadora portátil que deberá estar conectada al adaptador No. 400 de la computadora principal. Cuando tengamos listas ambas computadoras accedamos al disco y éste generará una ventana en la pantalla de la computadora portátil, la cual presenta un menú de opciones como el que muestra la siguiente pantalla.

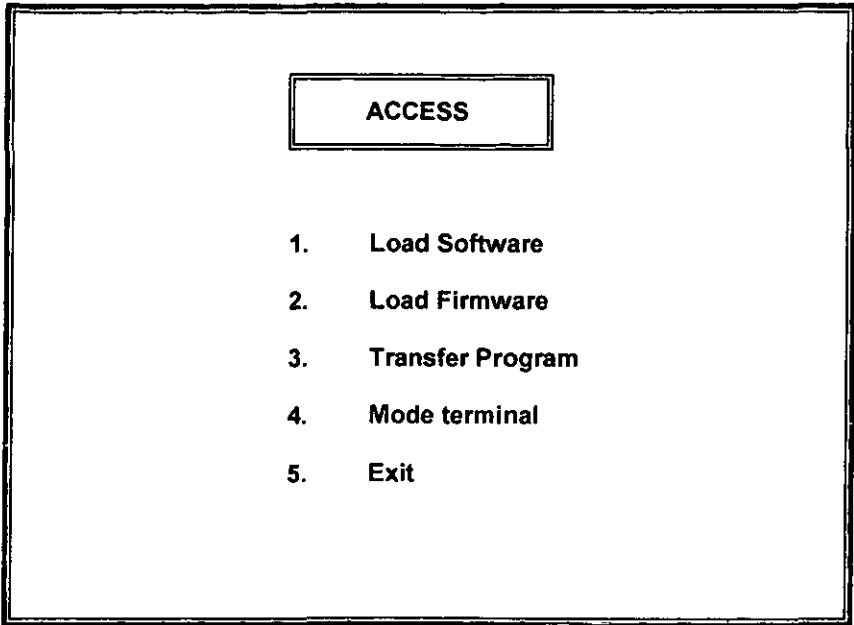


Figura 5.31. Pantalla de menú inicial.

Al elegir la opción 1 nos pedirá que introduzcamos el disco número 2, cuando este procedimiento se haya realizado, nos pedirá que oprimamos la tecla *enter* y empezará la carga del *software*. Una vez que se ha ejecutado esta tarea regresará al menú inicial, mostrado en la figura anterior, Entonces, elegimos la opción 2 y nos pedirá el disco número 3, el cual contiene el *Firmware*, nos pedirá que sea oprimida la tecla *enter* y el programa empezará a cargar. Cuando se tenga tanto el *Software* como el *Firmware* cargados en la computadora personal, oprimimos la tecla 3, la cual transfiere el sistema de programación (*Software + Firmware*) a la computadora y ésta comienza su proceso de inicialización por primera vez. Terminado este proceso nos manda automáticamente al modo terminal, que es la opción número 4, aquí la computadora portátil quedará enlazada como una terminal al equipo de cómputo y es entonces cuando aparecerá un cursor en la pantalla indicándonos que estamos dentro del paquete *FLEX*, en el modo terminal. Tal y como lo muestra la siguiente pantalla.



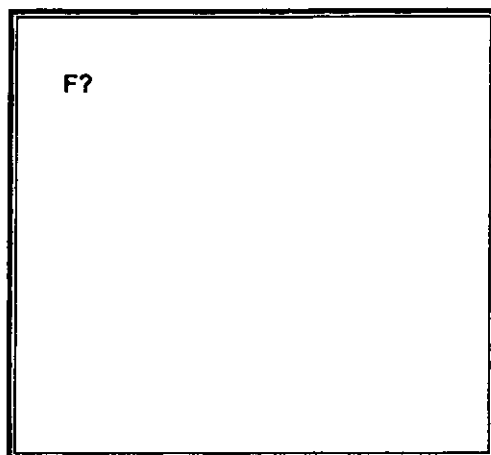


Figura 5.32. Pantalla de inicio del programa FLEX.

A continuación la tarea a realizar es aplicar los comandos del *FLEX* para cargar los parámetros de operación, para ello accedemos al archivo PRIFILE y encontraremos las secciones correspondientes a las entradas y salidas analógicas y digitales, en donde tenemos que especificar los siguientes parámetros:

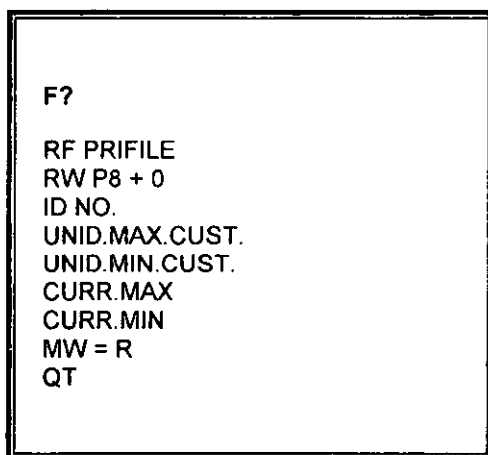


Figura 5.33. Pantalla de comandos del FLEX.

En esta pantalla podemos observar el cursor del sistema, en la línea siguiente iniciamos con el comando RF (*Read File*) leer archivo, le indicamos que queremos leer el archivo que se llama *PRIFILE*. En la siguiente línea es invocado el *buffer* P8 en la dirección 0 y mediante el comando RW (*Repeat Word*) le pedimos que repita la palabra. El sistema presenta la siguiente información: en primer lugar el número identificador, si es que ya tiene sino se lo tenemos que poner y es el número comprendido por dos cifras de acuerdo a nuestra secuencia de configuración, cabe aclarar que la secuencia de configuración es realizada al criterio de la persona que esté introduciendo los parámetros, bien puede escoger el 15 o el 50, esto no presenta ninguna restricción; el siguiente parámetro a introducir es la magnitud máxima de la variable en cuestión, expresado en unidades del cliente, si es tomada como referencia la consistencia el valor aquí sería 4%. La siguiente línea nos marca la magnitud mínima en unidades del cliente, en este caso sería 3.0 %, prosiguiendo nos encontramos con la corriente máxima que serán 20 mA, después la corriente mínima que será 4 mA. Finalmente el comando MW (*Memory Write*) indica que tiene que leer el *buffer* P8 y grabar los datos en disco.

La elaboración de estas tablas tiene una secuencia similar para todos los archivos mencionados en el capítulo 4, por lo que sólo es necesario tomar valores de los instrumentos y verificar las unidades máximas y mínimas del cliente e introducirlas. Como el sistema (*Software + Firmware*) fue adquirido para la aplicación de fabricación de papel, éste no requiere de mayor programación. Una vez integrado el sistema electromecánico, cuando éste sea reinicializado, las veces que sean, su función siempre será la de controlar el proceso de fabricación del papel.

En este capítulo se hizo la descripción del proceso de compra del equipo, posteriormente se describió detalladamente la integración del *hardware*, finalizando con la carga del programa de aplicación. En el siguiente capítulo se describe la puesta en operación.

**CAPÍTULO**

**VI**

**PUESTA EN OPERACIÓN**

En el presente capítulo se describe el procedimiento de liberación para el sistema integrado en la máquina "MAQ II", por lo que es necesario verificar y acreditar la instalación realizada, así como comprobar el funcionamiento del sistema de acuerdo a los objetivos planteados que dieron origen a este proyecto.

Cabe mencionar que en el proceso de puesta en operación se detectó la duplicidad de funciones en cuanto a la integración de dos módulos programables. El control directo y manipulación de los 13 actuadores para racionar el flujo de pasta a la salida de la caja principal, trae consigo una estación de operación para el control de 13 señales analógicas, el cual en un análisis detallado se observó que al agregar una tarjeta electrónica de interfaz analógica, en el módulo programable que se encuentra en el gabinete del equipo de cómputo, eliminaríamos la duplicidad de funciones, los resultados son buenos ya que esto se ve reflejado económicamente en el momento.

Esto nos encaminó a la compra de una programación especial para el funcionamiento del equipo de cómputo, ya que la programación estándar existente en el mercado no contempla la integración del módulo programable que se eligió; no obstante, aún cuando éste cambio requería una mayor inversión económica, se logró negociar el retorno de la estación de control para los 13 actuadores al proveedor y él nos proporcionó el paquete de programación actualizado.

Una de las tareas específicas y que representan mayor relevancia es la puesta en operación. Esta puesta en operación se desarrolla con la finalidad de pasar una certificación y lograr liberar el sistema. El éxito o fracaso en esta tarea radica en la experiencia del personal para ajustar este tipo de sistemas, en donde se conjuga el aspecto teórico, reflejado como una técnica, y el aspecto empírico, reflejado como una práctica, ambos enfoques Teórico – Práctico son utilizados para el ajuste final de la integración del sistema electromecánico aplicado en el proceso del papel, por tal motivo es necesario correlacionar las lecturas emitidas por el sistema contra las lecturas realizadas en el laboratorio.

Tomando en cuenta que se ha comprendido el concepto del control del proceso de fabricación de papel, que como se ha mencionado en capítulos anteriores, las principales propiedades del papel que al sufrir cambio alguno modifican cualquier otra propiedad que lo integran son el peso y la humedad, sólo realizaremos estadísticos de estas dos variables, ya que el equipo instalado se encargará de controlar sus respectivas variables reflejando cualquier variación en el peso y la humedad.

Dicha correlación consiste de lo siguiente: se toman muestras a lo ancho del rollo de papel que se esté produciendo y son enviadas al laboratorio para determinar su peso y humedad, al mismo momento se registran los valores de peso y humedad reportados por el sistema, este procedimiento se realiza en toda una corrida de producción, que puede durar 2 o 3 días como máximo, de lo contrario en este tiempo terminaría nuestra toma de lecturas, aplicamos métodos estadísticos y obtenemos promedios de laboratorio y promedios de valores por computadora. De existir una diferencia entre estos valores se traza una gráfica, al eje X le corresponde los valores obtenidos por la computadora y al eje Y le corresponden los valores obtenidos en el laboratorio; se aplica la ecuación de la recta, de la cual despejamos la variable que se comprende como pendiente y por diferencias se logran  $45^\circ$  de inclinación de la recta definida, lo cual equivale a una pendiente igual a 1, calculamos su desplazamiento del origen y determinamos la corrección en *offset* requerida para un solo producto.

Una vez aplicado este concepto a todos nuestros productos, nos apegamos a las prácticas comerciales del papel en la vida real, en donde la asociación de fabricantes de papel con sede en Washington D. C., permite una variación de más / menos el 5 % en el peso del papel y humedad del mismo, por lo que todo valor que contenga variaciones menores a 5% son redondeados a la unidad decimal más próxima.

Esta tarea fue elaborada antes de llegar a la certificación que nos daría paso a la liberación del sistema. Asegurando el funcionamiento y la similitud de lecturas emitidas por laboratorio y por el sistema.

## 6.1. LIBERACIÓN DEL SISTEMA

De acuerdo a los objetivos planteados, la finalidad de este proyecto es automatizar los procedimientos de operación realizados por el personal de la planta para la elaboración de papel en un rango establecido de peso que va desde los 20 gr / m<sup>2</sup> hasta 200 gr / m<sup>2</sup>. Para conseguir dicha automatización fue necesario integrar el equipo ya mencionado, el cual requiere una certificación por parte del personal de la planta responsable de este proyecto.

Una vez efectuada la certificación de instalación es necesario proceder con la certificación de funcionamiento, para ello se requiere realizar corridas de los productos

que se fabrican, comprendidos dentro del rango especificado y correlacionar con la medición que es reportada en la estación del operador. En esta parte de la certificación se elabora una tabla, comparando las mediciones de laboratorio contra las mediciones del sistema, siendo significativas únicamente las mediciones de peso y humedad, puesto que ambas mediciones comprenden el comportamiento de cualquier otra variable.

En la tabla 6.1 se muestra la lista de los elementos que conforman el sistema instalado.

**Certificación de instalación:**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RECIBIDO</b>
Un sistema de control compuesto por los siguientes elementos		
1	Gabinete de cómputo con sus correspondientes divisiones	De acuerdo
1	Computadora	De acuerdo
1	Procesador programable	De acuerdo
2	Terminales de monitoreo	De acuerdo
1	Marco de medición con un porta sensor con dos paquetes sensores, uno de peso y otro de humedad	De acuerdo
13	Actuadores neumáticos, instalados a la salida de la caja principal	De acuerdo
1	Transmisor de consistencia, instalado en el ducto de salida del tanque de pasta	De acuerdo
1	Transmisor de flujo instalado en el conducto de salida del tanque de nivel	De acuerdo
1	Transmisor de presión instalado en el conducto que alimenta vapor a la tercera sección de secadores	De acuerdo
1	Válvula para la dilución de pasta, instalada en el ducto de alimentación de agua blanca, controlada a través del sistema, tomando su referencia en el transmisor de consistencia	De acuerdo

**Tabla 6.1. Certificación del sistema de control. (Continúa)**

1	Válvula para el control de flujo de pasta, instalada en el ducto de salida del tanque de nivel, controlada a través del sistema, tomando su referencia en el transmisor de flujo	De acuerdo
1	Válvula para el control de vapor, instalada en el ducto que alimenta de vapor a la tercera sección de secadores, controlada a través del sistema, tomando su referencia en el transmisor de presión.	De acuerdo
4	Tacómetros instalados en la mesa de formación, la sección de prensas, la calandra y el enrollador	De acuerdo

Tabla 6.1. Certificación del sistema de control.

En la tabla 6.2 se presentan comparativamente los resultados de la medición elaborada en el laboratorio y las mediciones del sistema para cada tipo de producción.

#### Certificación de funcionamiento:

Medición realizada por el laboratorio		Medición Realizada por el sistema	
Peso ( $gr/m^2$ )	Humedad (%)	Peso ( $gr/m^2$ )	Humedad (%)
20.5	3.9	20	4
40.35	4.5	40	4.5
60.4	3.8	60.1	3.9
80	4.2	80.2	4.1
100	4	100.13	4.3
120.8	4.6	120	4.5
140	4.5	139.2	4.65
159	5	160	5.3
180.8	5.5	180	5.5
200	6	200	5.9

Tabla 6.2. Certificación de funcionamiento.

La certificación para el control de peso y humedad se realizó tomando un producto al azar, el cual fue de  $34 gr/m^2$  y 4.5 % de humedad. A continuación se muestran las gráficas correspondientes en el primer recorrido figura 6.1, a los 45 segundos figura 6.2 y a los 120 segundos figura 6.3.

1

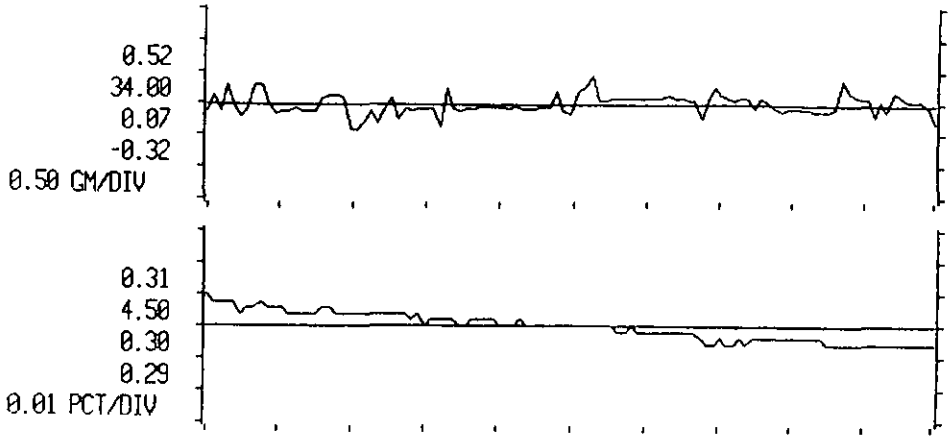


Figura 6.1. Gráfica de peso y humedad inicial.

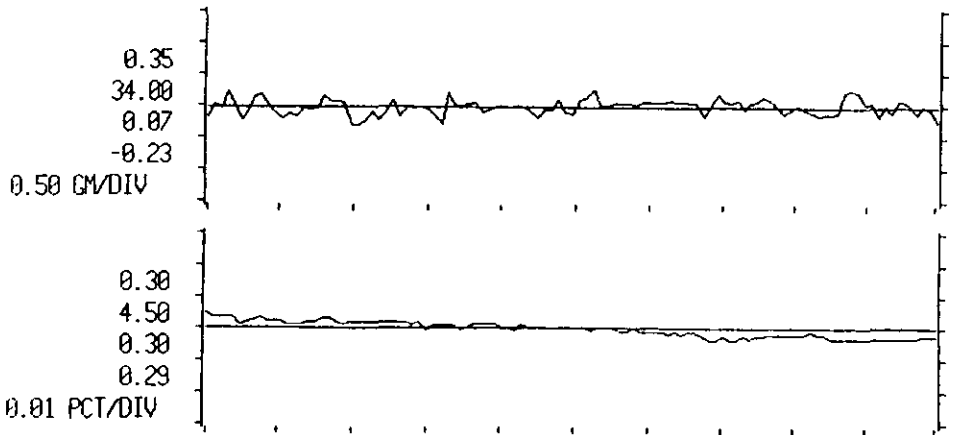


Figura 6.2. Gráfica de peso y humedad a los 45 seg.

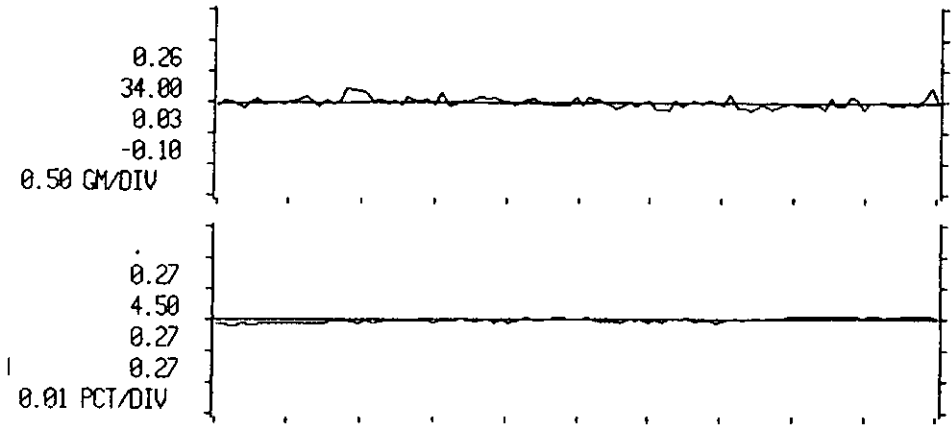


Figura 6.3. Gráfica de peso y humedad a los 120 seg.

En las gráficas se observa como el perfil del peso (parte superior) se va corrigiendo conforme pasa el tiempo y se van eliminando las desviaciones. Lo mismo ocurre con la gráfica de humedad (parte inferior), en la cual se observa que el perfil tiene una forma inclinada y poco a poco se va alineando horizontalmente.

Por lo tanto el Ingeniero responsable del proyecto acepta y certifica que ha quedado instalado y funcionando el sistema integrado, cumpliéndose los objetivos planteados al inicio. Se recibe y es liberado dicho sistema.

En el presente capítulo se describió el procedimiento para llevar a cabo la liberación del sistema, presentando algunas gráficas que muestran la acción de control, en particular para un papel de  $34 \text{ gr/m}^2$ . En el siguiente capítulo se presentan los resultados y conclusiones.



CAPÍTULO

VII

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el presente capítulo se dan los resultados y las conclusiones a las que se llegaron después de haber puesto en marcha el sistema para automatizar la máquina "MAQ II".

### 7.1. RESULTADOS

Tomando como base el objetivo del presente trabajo, en el que se planteó la necesidad de diseñar e implementar un sistema que permitiera gobernar la respuesta de la máquina "MAQ II", sin que los operadores intervinieran directamente, y habiendo terminado el montaje y hecho la liberación del sistema se llegó a los siguientes resultados:

1. La máquina "MAQ II" cuenta ahora con un sistema automático que es capaz de controlar las variables de consistencia, flujo de pasta, peso base y humedad que determinan la calidad del papel. Este sistema permite monitorear dichas variables y generar reportes de producción y calidad en forma impresa.
2. Se logró alcanzar la calidad requerida en cada uno de los diferentes productos que se elaboran en la planta "Los Reyes", entre los que podemos mencionar como principales:
  - Papel de 48.9 g/m<sup>2</sup>
  - Papel de 60.1 g/m<sup>2</sup>
  - Papel de 75.2 g/m<sup>2</sup>
  - Papel de 90.2 g/m<sup>2</sup>
3. Al conseguir que los productos fabricados se encuentren dentro de los estándares de producción se vio una notable reducción de la merma.

4. Se logró un incremento en la producción total de la máquina "MAQ II" que representa un 40% más y que equivale a 16 Toneladas de producto por día, obteniendo una producción de 56 Toneladas diarias en los tres turnos. Este logro está por debajo del objetivo inicial por tan sólo 4 toneladas menos.
5. Al incrementar su producción la fábrica de papel "Los Reyes" se encuentra en condiciones de satisfacer la demanda de sus clientes en Centroamérica y el Caribe, lo cual genera entrada de divisas al país.

## 7.2. CONCLUSIONES

Una vez liberado el sistema y con los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Durante la selección del equipo se observó que actualmente la mayoría de los proveedores ofrecen elementos con estándares de comunicación, lo cual facilita el acoplamiento de varios equipos de diferentes marcas para implementar un sistema de control.
2. La automatización de cualquier tipo de industria minimiza los tiempos de ejecución y aumenta la productividad de la planta, además garantiza la calidad del producto.
3. El mejorar la calidad del producto implica una mayor competitividad en el mercado, lo cual obliga a cualquier empresa a automatizar sus procesos e implementar tecnología avanzada para lograr este fin.
4. Por último concluimos que se han cumplido los objetivos planteados al inicio del presente proyecto, lo cual nos deja una gran satisfacción pues es una pequeña aportación al desarrollo de nuestro país. Desde luego estos logros son el fruto de la preparación que hemos adquirido en la Facultad de Ingeniería, dándonos la capacidad de diseñar, instalar, supervisar e integrar diversos sistemas, componentes y procesos tanto eléctricos y electrónicos, como de comunicaciones y de control automático, con el fin de lograr el óptimo desarrollo de diversos procesos industriales y de servicios, así como de contribuir al desarrollo de satisfactores para la comunidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. CASEY, J., "*Pulpa y Papel: Química y tecnología química*" Volúmenes 1, 2 y 3, Limusa, México, 1998.
2. HOLMAN, J.P., "*Métodos Experimentales Para Ingenieros*", Mc Graw Hill, México, 1986.
3. OGATA, K., "*Ingeniería De Control Moderna*", Prentice may Hispanoamericana, México, 1998.
4. BOYLESTAD, R., NASHESKY, L., "*Electrónica: Teoría de Circuitos*", Prentice Hall, Sexta edición, México, 1997.
5. CAMARENA, P., "*Datos de Motores Eléctricos*", México Continental, México, 1959.
6. VEINOTT, C., "*Fractional Horse Power Electric Motors*", Mc Graw-Hill, Estados Unidos, 1939.
7. MARIN, C., "*Máquinas Eléctricas*", Servicios de Ingeniería, México, 1969.
8. SISKIND, C., "*Electrical Machines*", Mc Graw-Hill, México, 1963.
9. MATA, G., GARIBAY,R., "*Manual de Prácticas de Transductores y Convertidores Eléctricos*", UNAM, Facultad de Ingeniería, México, 1993.
10. CREUS, A., "*Instrumentación Industrial*", Alfaomega:Marcombo, México, 1992.
11. BERNARD, O., "*Electronic Measurement and Instrumentation*", Mc Graw-Hill, Estados Unidos, 1971.
12. LAVIGNE, J., "*An Introduction to Paper Industry Instrumentation*", Freeman, Estados Unidos, 1971.
13. BECERRA, B., "*Sistemas de prensa en la Máquina de Papel*", Universidad de Guadalajara, México, 1994.
14. RODRÍGUEZ, J., "*Proceso de distribución de la pasta y formación de la hoja de Papel*", Blume, España, 1970.
15. CEMBRANOS, F., "*Sistemas de control secuencial*", Paraninfo, España, 1994.

16. PALLÁS, R., **"Sensores y acondicionadores de señal"**, Marcombo, España, 1994.
17. WOLF, S., SMITH, R., **"Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio"**, Prentice Hall, 1992.
18. CRUZ, L., **"Compras, principios generales"**, CECSA, México, 1985.
19. BALCELLS, J., ROMERAL, J., **"Autómatas Programables"**, ALFAOMEGA, México, 1998.

## MANUALES

1. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Manual del sistema"**
2. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Manual de servicio"**
3. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Lista de partes"**
4. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Gabinete principal"**
5. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Monitor"**
6. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Consola (computadora personal)"**
7. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Plataforma de medición"**
8. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Sensores (peso, humedad y calibre)"**
9. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Control"**
10. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Flex"**
11. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Diagnostico del sistema (aid)"**
12. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Fallas (secuencia de localización)"**
13. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Descripción general del proceso y de la computadora"**
14. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Manual de ingeniería"**
15. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Manual de instalación"**
16. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Apoyo general"**
17. SISTEMA ACCURAY 1180 M, **"Aire acondicionado"**

<b>APÉNDICE</b>
<b>A</b>

**MANUAL DE REFERENCIA**

1. PROPÓSITO.....	2
2. VISTA GENERAL DEL SISTEMA .....	2
3. PRINCIPIO DE MEDICIÓN .....	2
4. SEGURIDAD DE IRRADIACIÓN.....	3
5. VISTA GENERAL DE LA ESTACIÓN DEL OPERADOR.....	3
5.1. Botones de entrada video .....	4
5.2. Botones de código de los canales.....	4
5.3. Botones dedicados .....	7
6. AUTO ARRANQUE DEL SISTEMA.....	8
7. CONTROLES DEL PORTA SENSOR.....	9
7.1. En hoja .....	10
7.2. Fuera de hoja.....	10
7.3. Local.....	10
7.4. Avanzar .....	10
7.5. Retroceder.....	10
7.6. Límite de retroceso .....	10
7.7. Límite de avance .....	10
8. CONTROLES DEL PORTA SENSOR EN LA ESTACIÓN DEL OPERADOR..	11
8.1. El botón de barrido.....	11
8.2. El botón fuera de hoja.....	11
8.3. El botón de punto fijo .....	11
9. INFORMES EN VIDEO .....	11
9.1. Alarma .....	12
9.2. Promedios .....	12
9.3. Perfil compuesto .....	12
9.4. Resumen de producción .....	12
9.5. Resumen del proceso .....	12
9.6. Imprimir video .....	12
10. INFORMES IMPRESOS.....	12
11. SECUENCIA DEL CONTROL AUTOMÁTICO.....	13

## 1. PROPÓSITO

Este manual ha sido preparado para los operadores, supervisores y otro personal que utilice frecuentemente el sistema implantado. En él se explican los pasos básicos requeridos para usar el sistema en la fabricación del papel. Este manual complementa la documentación que se le proporciona al personal mencionado de la fábrica y constituye un Manual del Operador, que provee información adicional e instrucciones detalladas en cuanto a todas las características del sistema. Dicho Manual del Operador se encuentra integrado por 480 páginas encontrando una copia física en la biblioteca de la fábrica y una copia en poder del personal autorizado para la operación del equipo.

## 2. VISTA GENERAL DEL SISTEMA

El sistema integrado provee control e información de la máquina para la fabricación del papel, con la finalidad de fabricar más papel de mayor calidad. La información relativa al papel es recolectada mediante sensores que miden el gramaje y la humedad en nuestro caso, la información proveniente del proceso da indicaciones relativas a presiones, flujos, velocidades. Para el personal de la planta y para el personal administrativo, el sistema integrado muestra esta información por medio de terminales de video, paneles indicadores de proceso, e informes impresos. Esta información también es utilizada para el control automático del gramaje, del espesor y de la humedad. Controles avanzados intervienen en cambios de fabricación, optimización de velocidad, y en otras operaciones de la máquina.

## 3. PRINCIPIO DE MEDICIÓN

**Propósito:** Descripción de cómo funcionan los sensores de medición.

**Ubicación:** Los sensores son colocados normalmente en el porta sensor.

El sistema integrado tiene la capacidad de soportar en su instalación varios tipos de sensores para efectuar las mediciones en la industria del papel. De entrada las tecnologías empleadas que se pueden citar son: rayos "X", infrarrojos (IR), microondas.

Cada sensor consta de una fuente de señal y un detector. Las interacciones de la señal procedente de la fuente y recibidas por el detector son modificadas cuando existe la presencia del papel entre la fuente y el detector. Comparando los cambios en el

sensores contienen una calibración de fábrica para que las medidas sean expresadas en las unidades apropiadas, por ejemplo, porcentaje de humedad, gramos / metros cuadrados.

#### **4. SEGURIDAD DE IRRADIACIÓN**

La técnica utilizada para medir el peso del papel emplea una fuente radioactiva. Dicha técnica se ha empleado por más de 50 años con plena seguridad, para prolongar esta seguridad es necesario seguir unas sencillas reglas realizadas para el manejo y uso de sensores radioactivos.

1.- En todo lugar en donde se emplea elemento radioactivo existen indicadores visuales que manifiestan cuando está en uso y cuando no está en uso dicho elemento, por norma general estos indicadores deben corresponder a la siguiente descripción: un letrero que indique la existencia en ese lugar de un elemento radioactivo, una luz emitida por una lámpara de color rojo indica fuente radioactiva en uso, por consecuencia no se debe permanecer innecesariamente en ese lugar. Una luz emitida por una lámpara de color verde indica fuente radioactiva fuera de uso, esto permite la permanencia en ese lugar sin ningún riesgo.

2.- Antes de realizar los trabajos cerca de sensores radioactivos verificar el punto anterior.

3.- El personal dedicado al mantenimiento de estos equipos debe certificar sus conocimientos sobre el manejo de equipo radioactivo ante el Instituto de Energía Nuclear y Salvaguardas. Obteniendo una responsiva sobre el empleo de dicho equipo.

Tomando estas precauciones el equipo se puede utilizar con toda seguridad.

#### **5. VISTA GENERAL DE LA ESTACIÓN DEL OPERADOR**

**Propósito:** Descripción general de los paneles indicadores, y de los botones de la estación del operador.

**Ubicación:** En el cuarto de control, o al lado de la máquina de papel.



### **5.1. Botones de entrada video**

**Propósito:** Para permitir cambios de variables mostradas en video.

**Ubicación:** En medio del panel de entrada de datos, de la estación del operador.

Los datos correspondientes a los valores estándares de producción y que son mostrados en video pueden ser cambiados por medio de una función que se llama video interactivo y que se encuentra activada desde un inicio en la programación del sistema.

Dichos cambios se logran posicionando un cursor luminoso que aparece en la pantalla esto se realiza mediante una tecla con el nombre última entrada o próxima entrada. El botón última entrada mueve hacia arriba el cursor luminoso. El botón próxima entrada mueve hacia abajo el cursor luminoso. Si se alcanza la parte más alta de la pantalla de video, y se oprime continuamente el botón ultima entrada , el cursor aparecerá en la parte inferior de la pantalla. Si se oprime continuamente el botón próxima entrada , el cursor bajara a la parte inferior de la pantalla de video, y luego aparecerá en el extremo superior de la pantalla.

Una vez que se haya situado el cursor luminoso en su posición correcta, se pueden cambiar los datos , de la siguiente manera:

1. Oprima el botón entrada datos video.
2. Oprima los botones numéricos en el teclado para el valor deseado.
3. Oprima el botón entrar de los botones para entrar datos.

Unos segundos después, se observarán los nuevos datos en el video.

### **5.2. Botones de código de los canales**

**Propósito:** Para hacer accesibles los datos del producto y del proceso al sistema.

**Ubicación:** Lado derecho del panel de entrada de datos, en la estación del operador.

Los códigos de canal revelan directamente la información del producto y del proceso acumulado en el sistema. Cada número de código del canal es una dirección de un dato específico de información (ejemplo: velocidad de la máquina, humedad, posición de la válvula).

### Instrucciones

1. Oprima el botón número de canal de los botones para entrar datos.
2. Oprima los botones del teclado numérico para introducir el número del código de canal correcto.
3. Oprima el botón entrar de los botones para introducir datos, para exhibir el valor almacenado en la dirección del código del canal. Este valor aparecerá en el display que se encuentra en el panel de selección de video.
4. Si el código de canal permite cambio de datos (ejemplo: código de canal no. 1 para la hora), oprima el botón dato de canal de los botones para introducir datos.
5. Oprima los botones en el teclado numérico para entrar datos en el código de canal.
6. Oprima el botón entrar de los botones para entrar datos, para entrar datos nuevos en la posición del código de canal.

Los números típicos de los códigos de canal son:

Canal	Variable	Entrada de datos
1	Hora	0-2359
2	Mes	1-12
3	Día	1-30
4	Año	Hasta 99
5	Arranque	0 = Borrar datos 1 = No borrar datos

6	Página de auto arranque	1
10	Valor MRN	Entre MRN como dato
18	Velocidad de maquina	
19	Velocidad de enrollador	
60	Posición punto fijo	000-1000
101	Valor promedio SRN	Entre SRN como dato
102	Valor punto fijo	Entre SRN como dato
500	Número de bobina actual	
501	Ancho total de la hoja	
650	Perfil en video inicializado	
<b>MRN</b>	<b>Variable</b>	<b>MRN = Número de recurso asignado</b>
01	Posición válvula de pasta	
02	Presión de vapor	
04	Consistencia	
05	Velocidad de enrollador	
06	Velocidad de maquina	
22	Posiciones de actuadotes LVDT	
<b>SRN</b>	<b>Sensor</b>	<b>SRN = Número de recurso asignado a cada sensor.</b>
07	Gramaje	
47	Humedad	
48	Humedad	

### **5.3. Botones dedicados**

**Propósito:** Permiten la entrada de datos específicos al sistema

**Ubicación:** Se localizan en la última fila de los botones del panel de entrada de datos, en la estación del operador.

Los botones dedicados se utilizan para introducir datos frecuentemente requeridos por el sistema. Para el empleo de ellos se requiere seguir las instrucciones que se muestran a continuación.

#### **Nueva Fabricación**

Se utilizan para comunicar a la computadora que los datos que están siendo introducidos pertenecen al próximo producto de fabricación.

#### **Número de producto**

Se usa para indicar a la computadora el próximo producto de fabricación. La página de video "resumen del proceso" exhibirá las consignas preliminares que se utilizarán para este producto cuando se efectúe un cambio de fabricación.

#### **Consigna de gramaje**

Se utiliza esta consigna para controlar el gramaje (gramaje, peso seco o peso condicionado) en el sistema.

#### **Consigna de humedad**

Se utiliza esta consigna para controlar la humedad.

#### **Ancho total próximo**

Indica a la computadora la anchura del próximo rollo.

## Número de rollo

Utilizado para indicar los datos pertinentes a una bobina específica.

## 6. AUTO ARRANQUE DEL SISTEMA

**Propósito:** Introducir los datos de auto arranque del sistema después de un paro ordenado por la computadora.

**Ubicación:** Se encuentra ubicado en el video de la estación del operador y en el panel de entrada de datos.

Cuando se requiera que el sistema se encuentre desconectado para realizar mantenimiento o alguna otra tarea es conveniente que el sistema permanezca en un estado de espera, esto se logra habilitando el canal número 6 y dato de canal 1 con lo cual aparecerá una página en el video como la mostrada en la siguiente figura la que solicita la información requerida como mes, día, año, hora y finalmente el indicador de auto arranque, que puede ser la opción "0" para borrar todo los datos anteriores y arrancar el sistema o bien la opción "1" para arrancar el sistema conservando los datos registrados antes de su estado de espera.

El procedimiento para alimentar esta página es el siguiente:

1. Cuando aparezca la página de auto arranque, aparecerá también un cursor luminoso el cual debe colocarse sobre los datos del mes mediante el procedimiento anteriormente descrito. Si no se encuentra allí, oprima el botón próxima entrada hasta que el cursor pare al lado del mes .
2. Oprima el botón entrada datos video cuando el cursor este al lado del mes. Oprima los botones en el teclado numérico para el mes. Uno (1) significa enero.
3. Oprima el botón entrar de los botones para entrar datos. (El valor correcto aparecerá cuando el video se actualice, al cabo de unos segundos.)
4. Oprima el botón próxima entrada para mover el cursor luminoso a la posición marcada con el día. Cuando el cursos este al lado del día, oprima los botones en el teclado numérico que corresponden al día del mes. Oprima el botón entrar de los botones para entrar datos.

5. Oprima el botón próxima entrada para mover el cursor luminoso a la posición del año. Cuando el cursor este al lado del año. Oprima los botones en el teclado numérico que corresponde al año, 01 indica 2001.
6. Oprima el botón próxima entrada para mover el cursor luminoso a la posición marcada con la hora, introduzca la hora siguiendo la misma secuencia que en los pasos anteriores.
7. Oprima el botón próxima entrada para mover el cursor luminoso al lado del auto arranque, introduzca la opción 1 para conservar datos previos o introduzca 0 para eliminar datos previos.
8. Cuando haya finalizado de la entrada de datos para el auto arranque, oprima los botones en hoja, de los controles del porta sensor (que mas adelante serán explicados) para poner el porta sensor sobre la hoja a medir.
9. Oprima el botón en fabricación.

Con esta carga de datos el sistema queda en condiciones de efectuar un auto arranque posterior.

## **7. CONTROLES DEL PORTA SENSOR**

**Propósito:** Indicar el estado de funcionamiento de la fuente radioactiva, controlar la configuración y el manejo de los sensores.

**Ubicación:** En la columna del marco de medición del lado operación.

### **Fuente abierta (luz roja)**

El obturador de la fuente radioactiva se encuentra abierto y la radiación está pasando de la fuente al detector.

### **Fuente cerrada (luz Verde)**

El obturador de la fuente radioactiva esta cerrado. La radiación esta bloqueada completamente por el obturador de la fuente.

### **7.1. En hoja**

Cuando se oprime este botón el porta sensor empieza el recorrido de muestreo sobre la hoja de papel que se esta fabricando.

### **7.2. Fuera de hoja**

Cuando se oprime este botón el porta sensor se retira posicionándose en el lado transmisión de la máquina, interrumpiendo su muestreo.

### **7.3. Local**

Este botón desacopla el porta sensor del control de la computadora y transfiere su mando a los botones avanzar y retroceder descritos a continuación.

### **7.4. Avanzar**

Este botón mueve el porta sensor hacia el lado conductor .

### **7.5. Retroceder**

Este botón mueve el porta sensor hacia el lado transmisión.

### **7.6. Límite de retroceso**

Cuando se oprime este botón marcamos su limite de retroceso para cuando éste este en funcionamiento.

### **7.7. Límite de avance**

Cuando se oprime este botón marcamos su limite de avance para cuando el porta sensor este en funcionamiento.

## **8. CONTROLES DEL PORTA SENSOR EN LA ESTACIÓN DEL OPERADOR**

**Propósito:** Para colocar los sensores sobre la hoja, en punto fijo, en punto variable o fuera de hoja.

**Ubicación:** En el panel de entrada de datos.

### **8.1. El botón de barrido**

Coloca el porta sensor sobre la hoja y este recorre la distancia entre los límites delanteros y traseros que previamente fueron introducidos según el ancho de la hoja de papel producida.

### **8.2. El botón fuera de hoja**

Coloca el porta sensor fuera de hoja. Realiza la misma función que el botón de mando del porta sensor pero ahora comandado desde el panel del operador.

### **8.3. El botón de punto fijo**

Coloca el porta sensor en un punto fijo determinado por numero de canal 6 explicado con anterioridad.

## **9. INFORMES EN VIDEO**

**Propósito:** Para exhibir información del producto y del proceso para el uso del operador

**Ubicación:** El video y los botones de selección del video se encuentran en la estación del operador.

El video en la estación del operador provee información para uso exclusivo del operador. Él puede seleccionar el informe deseado oprimiendo uno de los botones de selección de video. A continuación se encuentra la descripción de algunas páginas de video.



### **9.1. Alarma**

Comunica la existencia de problemas en el sistema, por ejemplo recorrido del marco de medición, mal funcionamiento de los controles del proceso o problemas que impiden el funcionamiento total del sistema.

### **9.2. Promedios**

Muestra la variación de los datos promedio de las variables del proceso.

### **9.3. Perfil compuesto**

Muestra las variaciones que presentan las distintas variables a través de la máquina mediante la determinación del promedio de los datos obtenidos en un recorrido completo del porta sensor a lo ancho de la hoja de papel.

### **9.4. Resumen de producción**

Contiene datos como son: las toneladas producidas como valor total, las toneladas producidas por hora, el tiempo de producción, el tiempo perdido, registra la hora de cambio de fabricación.

### **9.5. Resumen del proceso**

Muestra datos del proceso y del producto, como gramaje, peso seco, velocidad de la máquina, los estándares, las consignas, y los valores actuales de fabricación.

### **9.6. Imprimir video**

Para los sistemas que cuenta con impresoras, la información vista en el video puede ser impresa tan solo al oprimir este botón.

## **10. INFORMES IMPRESOS**

**Propósito:** La información recolectada por el sistema o exhibida en las terminales puede ser impresa.

**Ubicación:** La información puede imprimirse de una manera automática programando la hora y página requerida, o bien imprimirse manualmente mediante el botón imprime video. A la impresora ubicada en el cuarto de control.

Los informes impresos emitidos del sistema permiten conservar información importante de producción y calidad del papel, ya que estos contienen un informe detallado del rollo así como de la fabricación hasta el momento en el que es solicitado el reporte.

## **11. SECUENCIA DEL CONTROL AUTOMÁTICO**

**Propósito:** Describir la secuencia correcta para iniciar la operación del control automático.

**Ubicación.** En el panel de control del proceso y del porta sensor .

La secuencia para colocar los controles automáticos es la siguiente:

1. Arranque total del sistema.
2. Poner en funcionamiento el marco de medición.
3. Esperar a que en el video sean visualizadas las páginas de perfiles y promedios.
4. Esperar a que el sistema se estabilice, esto se podrá observar en el comportamiento de promedios y perfiles.
5. Oprimir el botón gramaje auto.
6. Oprimir el botón humedad auto.

<b>APÉNDICE</b>
<b>B</b>

**MANUAL DE SÍNTOMAS**

1. PROPÓSITO.....	B-1
2. MENSAJES DE ALARMA .....	B-1
3. SÍNTOMAS .....	B-3
3.1. El sensor no entra a medir.....	B-3
3.2. La medición parece inexacta .....	B-3
3.3. El sistema no permanece en automático .....	B-4
3.4. El ciclo de control es inestable .....	B-4
3.5. No hay reporte de rollo .....	B-4
3.6. El video se encuentra inoperante.....	B-5
3.7. Botones de la estación de operación centellando .....	B-5
3.8. Datos del sensor inválidos .....	B-5

**1. PROPÓSITO**

Esta sección proporciona información requerida por el operador para revisar y aislar un problema o falla y llevar al cabo los procedimientos correctivos elementales cuando el sistema lo necesite.

Al completar los procedimientos correctivos el operador deberá evaluar la operación del sistema para asegurarse del restablecimiento apropiado del mismo.

**2. MENSAJES DE ALARMA**

El formato de un mensaje de alarma es como sigue:

18:15	Actuador en local	FP
(Hora del Mensaje)	(Definición del mensaje)	(definición de localización)

El mensaje anterior indica que el actuador de flujo de pasta estuvo en local a las 18:15 horas.

La definición específica para varios mensajes y localizaciones se proporciona a continuación.

Definición del mensaje:

MAL FUNCIONAMIENTO DE SALIDA  
ACTUADOR EN LOCA  
ERROR EXCESIVO  
CONTROL REQUERIDO APAGADO  
EN EL LIMITE SUPERIOR  
EN EL LIMITE INFERIOR  
MAL FUNCIONAMIENTO DEL ACTUADOR  
MARCO EN LOCAL  
ERROR DE ENTRADA  
SERVICIO A COMPUTADORA  
DATOS DE SENSOR INVALIDOS

Definición de localización:

P1	PESO BASE
C	CONSISTENCIA
H1	HUMEDAD
V1	PRESIÓN DE VAPOR
FP	FLUJO DE PASTA
M1	MARCO 1

### 3. SÍNTOMAS

A continuación se proporciona una lista de síntomas que pueden indicar un problema o falla del sistema, así como también un deterioro del funcionamiento. Includido en la descripción del síntoma se encuentra la acción correctiva apropiada que permite restaurar el sistema.

#### Lista de síntomas

- El sensor no entra a medir
- La medición parece inexacta
- El sistema no permanece en automático
- El ciclo de control es inestable
- No hay reporte de rollo
- El video se encuentra inoperante
- Botones en consola de operación centellando
- Los datos del sensor son inválidos

#### 3.1. El sensor no entra a medir

Mensaje: Actuador en local Marco 1

##### Posibles fallas

##### Acción correctiva

Ruptura de hoja

Verificar detector de ruptura de hoja.

Porta sensor fuera de hoja

Oprima el botón con la leyenda BARRIDO para el restablecimiento.

Botón de Local en el marco de medición accionado

Oprima el botón de Local para restablecer.

#### 3.2. La medición parece inexacta

Mensaje: datos del sensor inválidos

##### Posibles fallas

##### Acción correctiva

Suciedad en las ventanas de los sensores	Realice limpieza a las ventanas de los sensores.
Producto mal calibrado	Solicite servicio técnico para calibración.

### 3.3. El sistema no permanece en automático

Mensaje: Control requerido apagado

Posibles fallas

Acción correctiva

Control solicitado en modo manual	Cambiar a modo automático el control requerido.
Control solicitado desactivado	Verifique la página de video correspondiente a controles y active el control requerido.
Error excesivo	Existe un error de magnitud considerable en la variable a controlar requerida, provocando solicitud de un ajuste previo en forma manual.
Error excesivo en las entradas del proceso	Si la medición varía excesivamente o si no está presente, notifique al departamento de instrumentos.

### 3.4. El ciclo de control es inestable

Mensaje: Actuador en el límite superior

Posibles fallas

Acción correctiva

La variable en cuestión ha llegado a su límite superior establecido.	Solicitar servicio técnico para ajustar límites adecuados de la variable
--	--

### 3.5. No hay reporte de rollo

Mensaje: Sin mensaje

Posibles fallas

Acción correctiva

Impresora apagada	Encender impresora
Impresora fuera de línea	Restablecer impresora apagar y volver a encender impresora
Impresora sin papel	Cargar papel a la impresora

### 3.6. El video se encuentra inoperante

Mensaje: Sin mensaje

#### Posibles fallas

#### Acción correctiva

Video apagado	Encender video
Video desconectado de la computadora	Conectar video a la computadora.

### 3.7. Botones de la estación de operación centellando

Mensaje: Servicio a computadora

#### Posibles fallas

#### Acción correctiva

La computadora se encuentra fuera de línea	Reinicialice la computadora.
--	------------------------------

### 3.8. Datos del sensor inválidos

Mensaje: Error de entrada

#### Posibles fallas

#### Acción correctiva

Daño interno en el paquete sensor	Solicite servicio técnico al respecto.
-----------------------------------	--

Nota: Cabe aclarar que estas referencias son para el personal de operación, si con ellas no logra restablecer el problema o la falla, tiene que solicitar asistencia técnica para cualquiera de los casos mencionados.

<b>APÉNDICE</b>
<b>C</b>

## CORRECCIÓN DE PROGRAMACIÓN

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el sistema integrado consta de un paquete de programación que fue adquirido para su correspondiente integración, no obstante aún cuando esta programación ya se encuentra estructurada e implantada, en algunos casos es necesario realizar correcciones al programa instalado tales como cambio de páginas mostradas en video, activación de reportes e inclusive corrección en ajuste requeridos por los sensores, transductores y controladores, de igual manera se puede dar el caso de alguna actualización y será requerido dar de alta en el sistema un nuevo elemento como lo puede ser el transmisor de consistencia o alguno de sus tacómetros o simplemente configurar el programa de auto diagnóstico del sistema.

Para ello se requiere de la aplicación del programa de nombre FLEX e invocar la parte correspondiente al lenguaje ensamblador, a continuación presentaremos un formato de instrucciones en ensamblador que es aplicable para lograr estas modificaciones. A este tipo de modificaciones las identificaremos como adiciones al programa. Este procedimiento es realizado en la terminal correspondiente a ingeniería.

Punto	Escribir	Esperar respuesta	Explicación
1	Oprimir tecla (CR)	F?	Entra a Flex
2	Introduzca los siguientes símbolos. EM NNNNN (CR) Donde: NNNNN es el nombre del programa a modificar.	MOD ID= "STATUS"  Identificador del proceso  ID = 'NNNNN'	Identifica el programa que se requiere modificar



3	Introducir un disco con etiqueta "modificación"		Este disco será usado para almacenar la modificación
4	Introduzca ED (CR)	E?	Entra al editor de texto del Flex
5	Introduzca A (CR)		Comando que crea un nuevo archivo
6	Introduzca ORG :PSSD+AAAA (CR) Donde: AAAA es la dirección del programa a modificar		El sistema busca y se posiciona en el programa indicado
7	Escriba los cambios necesarios al programa y oprimir (CR) Por ejemplo: DC Z'0001'(CR) DC : pssd+6320 (CR) DC 'VELOCIDAD' (CR)		La modificación al programa es introducida paso a paso
8	END (CR)		Finaliza la modificación
9	. (CR)	E?	El sistema cierra los comandos del editor
10	W Nombre del disco: NNNNN (CR) Donde: NNNNN es el nombre del programa modificado	E?	El sistema escribe las modificaciones sobre el disco que fue introducido.
11	Introducir Q (CR)	F?	El sistema sale por completo del editor.
12	Introducir SM NNNNN (CR)	ERROR COUNT (n) Donde: N es el número de errores registrados en el programa	El sistema ejecuta el programa y detecta errores si es que los hubiera, de lo contrario nos enviará al símbolo del sistema que es F?

Notas:

1. El símbolo (CR) equivale a la tecla de entrada en el teclado usual de una computadora personal.
2. Los recuadros de la sección esperar respuesta que se encuentran en blanco, quiere decir que no existe respuesta para esa acción por parte del sistema, siendo algo normal.