

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**ESTRATEGIAS DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA
LA DOSIFICACION DE SODA CAUSTICA EN LA
UNIDAD DE MERCERIZADO**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS
PRESENTADO POR:**

ANGEL MANUEL SALAZAR TORRES

LIMA PERU

2006

DEDICATORIA

A mi esposa e hijo, que con su amor, comprensión y paciencia me han dado la fuerzas para culminar la titulación.

RESUMEN

En los últimos años la industria textil en nuestro país ha tenido un importante crecimiento, por lo que las plantas textiles se han visto en la necesidad de automatizar sus procesos en las diferentes unidades, a fin de garantizar la calidad de sus productos, así como obtener la máxima eficiencia en sus procesos.

Para ello se necesita tener el conocimiento de los sistemas de control y conocer bien el proceso, además de identificar las variables que deben estar controladas.

El presente informe presenta una propuesta de estrategia de control automático para la unidad de mercerizado en la tintorería Suretex (caso real). Se plantea el problema desde la preparación de solución de soda cáustica en el área de cocina automática y la dosificación en la unidad de mercerizado. La distancia para el traslado de la soda, el manipuleo cuidadoso, el traslado de la bomba, los controles manuales de concentración y temperatura en el proceso son variables a controlar; esto se logra con un sistema de control bien definido el cual puede efectuarse desde la central de monitoreo de otras unidades ó desde el mismo sitio.

El producto final en este caso la tela acabada mercerizada debe su brillo y la uniformidad del teñido a los parámetros con el cual se trabaje en la unidad de mercerizado, por eso la importancia de controlar las variables.

Además se presentan algunas propuestas para optimizar el proceso de mercerizado tanto económico como ambiental.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	6
1.1. ANTECEDENTES	6
1.2. OBJETIVO	6
1.3. JUSTIFICACION	7
1.4. INTRODUCCION AL PROBLEMA	8
II. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS	13
2.1. CONTROL AUTOMÁTICO	13
2.1.1. Objetivo del control automático	13
2.1.2. Niveles de automatización	15
2.1.3. Sistemas de control clásicos	16
2.1.3.1. Componentes del sistema de control	16
2.1.3.2. Control de lazo abierto	18
2.1.3.3. Control por retroalimentación o cerrado	19
2.1.3.4. Control de acción adelantada	21
2.1.3.5. Control en cascada	23
2.1.3.6. Control de relación	26
2.2. EL MERCERIZADO	29
2.2.1. Fundamentos teóricos del proceso de mercerizado	29
2.2.2. Efectos del mercerizado en la celulosa	33
2.2.3. Parámetros en el proceso de mercerizado	34
2.2.3.1. Concentración de la lejía	34
2.2.3.2. Temperatura del mercerizado	36
2.2.3.3. Tiempo necesario para el mercerizado	37
2.2.3.4. Efecto de la tensión en el mercerizado	38
2.2.4. Etapas del mercerizado	40
III. DESARROLLO DEL TEMA	43
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA, INSUMOS Y PRODUCTO	43
3.1.1. Tela cruda	43

3.1.2.	soda cáustica	44
3.1.3.	Humectante	45
3.1.4.	Secuestrante	47
3.1.5.	Agua	47
3.1.6.	Tela mercerizada	47
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	48
3.2.1.	Proceso químico	48
3.2.2.	Proceso físico	49
3.2.3.	Proceso físico - químico	50
3.2.4.	Procedimiento del proceso	53
3.3.	ESTRATEGIAS DE CONTROL A UTILIZAR EN PLANTA	57
3.3.1.	Estrategia de control	57
3.3.2.	Estrategia en preparación	58
3.3.3.	Estrategia de control automático en el proceso de mercerizado	59
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL UTILIZADO EN LA AUTOMATIZACIÓN	66
3.4.1.	Sensores de temperatura	66
3.4.2.	Sensores de nivel	68
3.4.3.	Sensores de densidad	70
3.4.4.	Bomba Peristáltica	73
3.4.5.	Válvulas	76
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
V.	BIBLIOGRAFÍA	86
VI.	APÉNDICE	87

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad en el sector textil se puede apreciar un importante crecimiento, por lo que muchas empresas dedicadas a la exportación de prendas de tejido punto diversifican sus productos y mejoran la calidad de los mismos a fin de ser más competitivas en el mercado. Es en este contexto que se desarrolla el presente informe, con el fin de dar una alternativa de solución a un caso real en la empresa Suretex, el cual se presenta en la unidad de mercerizado que carece de un sistema de control automático para controlar las variables principales y de un procedimiento para la preparación de lejía.

Hasta hace algunos años en la unidad de mercerizados la carga de trabajo era mínima, actualmente la exigencia de producción es fuerte y la unidad no puede cumplir con las metas.

Las otras áreas de la planta ya se implementaron controles automático, en el área de tintorería un dosificador de productos auxiliares y otro de colorantes agilizan el despacho a las maquinas de tintura, esto integrado a un sistema de control de supervisión de las maquinas de tintura que registra todos los eventos. Asimismo en el área de acabados las soluciones para los mismos se realizado mediante dosificación automática y los parámetros para fijar el textil se realizan mediante un computador. Es por ello la importancia de realizar la estrategia de control automática en el área de mercerizado y disminuir las variables no controladas en la planta.

1.2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una estrategia de control automático para la dosificación de soda cáustica (lejía) en el proceso de mercerizado a fin garantizar que los parámetros críticos del proceso permanezcan en el valor deseado, a su vez esto se reflejará en la uniformidad del mercerizado a lo largo del tejido punto. También se

planteará una mejor alternativa para la preparación de lejía y por ultimo se dará una orientación de que elementos de control se pueden utilizar para la implementación de dicha estrategia de control.

En el desarrollo del tema encontraremos las diversas estrategias de control, asimismo para conocer como se realizará la dosificación de lejía, se darán los fundamentos teóricos y factores que afectan al proceso de mercerizado a fin saber cuanta lejía de refuerzo se tiene que alimentar y a que concentración; veremos las características que deben tener tanto la materia prima como los insumos utilizados. Finalmente con los conceptos previos se hará la propuesta de estrategia de control para la unidad de mercerizado haciendo luego una rápida descripción de los elementos de control.

Si bien es cierto que actualmente las maquinas de mercerizar están implementadas con todo el sistema de control automático (concentración de lejía, temperatura, tiempo y tensión), todavía hay maquinas en nuestro medio que necesitan implementarlo y ese es nuestro caso.

1.3. JUSTIFICACION

La implementación de una estrategia de control en la unidad de mercerizado obedece en primer lugar a solucionar un problema de la calidad del textil, evitar el degrade y manchas a lo largo del textil. En segundo lugar en términos económicos, si bien es cierto que el porcentaje de reproceso por causa del mercerizado no sobrepasa el estimado, se puede reducir a cero, así como la merma que en algunos casos se da a fin de no reprocesar el textil por razones de tiempo y calidad a la que se pueda llegar después de dicho reproceso, esta merma si es excesiva puede trae como consecuencia incrementar los costos de producción, pues se debe reponer el textil con la cantidad de la merma. En este término económico cabe destacar también el ahorro de horas-hombre al no tener que preparar ni trasladar la soda cáustica, distribuyéndose al personal en apoyo a otras áreas. En tercer lugar

reducir la contaminación en la preparación de soda cáustica (lejía) en las áreas contiguas (laboratorio y cocina automática de colorantes).

1.4. INTRODUCCION AL PROBLEMA

Se presenta un problema inicial en el área de preparación de soda cáustica, puesto que en dicha área no se ha establecido horarios de preparación de soda cáustica en los grados °Bé requeridos tanto para la cocina automática (unidad de dosificación de productos químicos y auxiliares para los procesos de teñido) como para el área de mercerizado. Más bien las cantidades a preparar están definidas pero no se chequea al operario si lo hace en las proporciones establecidas durante los turnos de amanecida o los fines de semana.

A continuación detallamos algunos de los problemas que se presentan en la preparación de soda cáustica:

La preparación se realiza con soda cáustica micro perla, la cual contamina todo el ambiente de trabajo y al área contigua que es el laboratorio, puesto que en la preparación las partículas quedan en suspensión en el aire.

El ingreso de soda micro perla al tanque de preparación de 2000 lts se realiza a una altura de 2 m para lo cual el operario debe subir por una escalera metálica móvil con todo su equipo de seguridad (botas, guantes, mandil, mascarilla de filtro, lentes protectores y tapones de oído) y cortar la bolsa de 25 Kg. y vaciar su contenido.

Se debe esperar aproximadamente 4 horas a que enfríe en el tanque con agitación constante y ayudada por un serpentín de enfriamiento.

La soda cáustica preparada debe ser traspasada a un tanque de ibc de 1000 l con ayuda de una bomba portátil (bomba utilizada para tanquear cualquiera de los 25 productos diferentes de la cocina automática) que debe estar libre y limpia de cualquier resto de producto, ver figura 1.1.

Para trasladar la soda cáustica preparada hay que esperar la disponibilidad del montacargas (opera sólo en un turno), caso contrario

se debe trasladar con una stoka. Si se usa el montacargas este debe subir una rampa de 10 m con una inclinación de 40°; si se usa la stoka debe ser llevado por 2 operarios bajando por una pendiente de 10°, pasar un pequeño rompe muelle y luego subir 1.8 m con ayuda de un elevador. En ambos casos se deberá pasar por el área de tintorería, la cual se dificulta porque hay tachos con tela húmeda en ese lado de la nave, ver figura 1.2.

En el área de mercerizado se presentan los siguientes problemas:

El abastecimiento de solución de soda cáustica 28 °Bé se dificulta por los problemas mencionados en el área de preparación, además en esta área hay que traspasar la soda cáustica 28 °Bé del tanque de ibc al tanque auxiliar de la unidad de mercerizado, ayudado con la bomba portátil que hay que traer del área de cocina automática.

Una vez que la soda cáustica esta en el tanque auxiliar se debe añadir el humectante y secuestrante, manteniéndolos en agitación constante por un promedio de 20 – 30 minutos, ver figura 1.3.

La concentración de soda cáustica en el tanque de reacción va disminuyendo conforme avanza el proceso, el cual debería mantenerse constante a fin de que el brillo en la tela se mantenga constante.

La temperatura de mercerizado que es un factor importante para la obtención del brillo en la tela, la cual no se puede controlar, pues no cuenta con un sistema de enfriamiento como para bajar la temperatura hasta 15 °C, además de mantenerlo pues la reacción de mercerizado es exotérmica.

La falta de espacio en esta área se hace crítica por cuanto deben estar el textil y la soda cáustica 28 °Bé para ser del proceso un proceso continuo y no tener que parar por falta de textil o soda cáustica 28 °Bé.

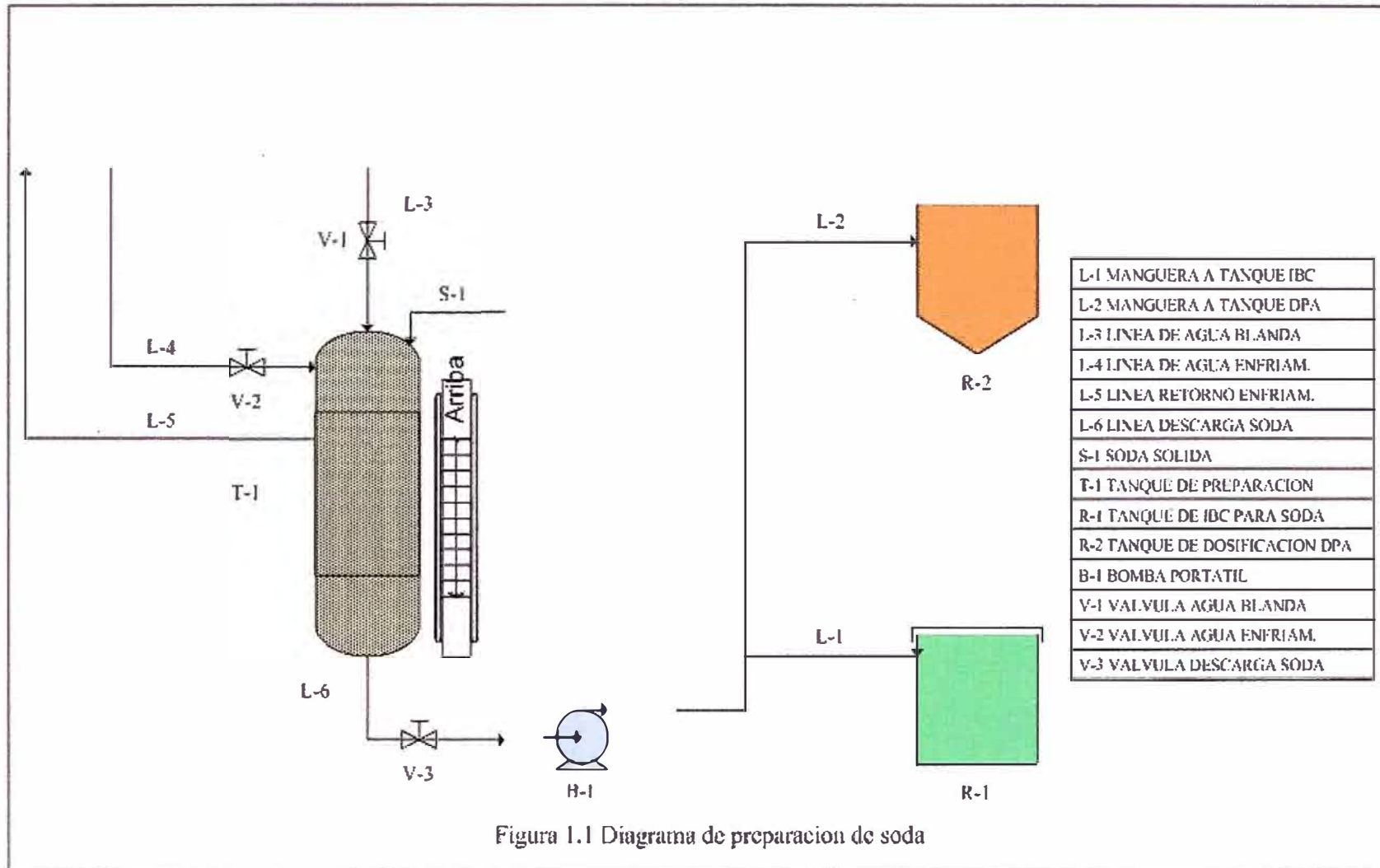


Figura 1.1 Diagrama de preparacion de soda

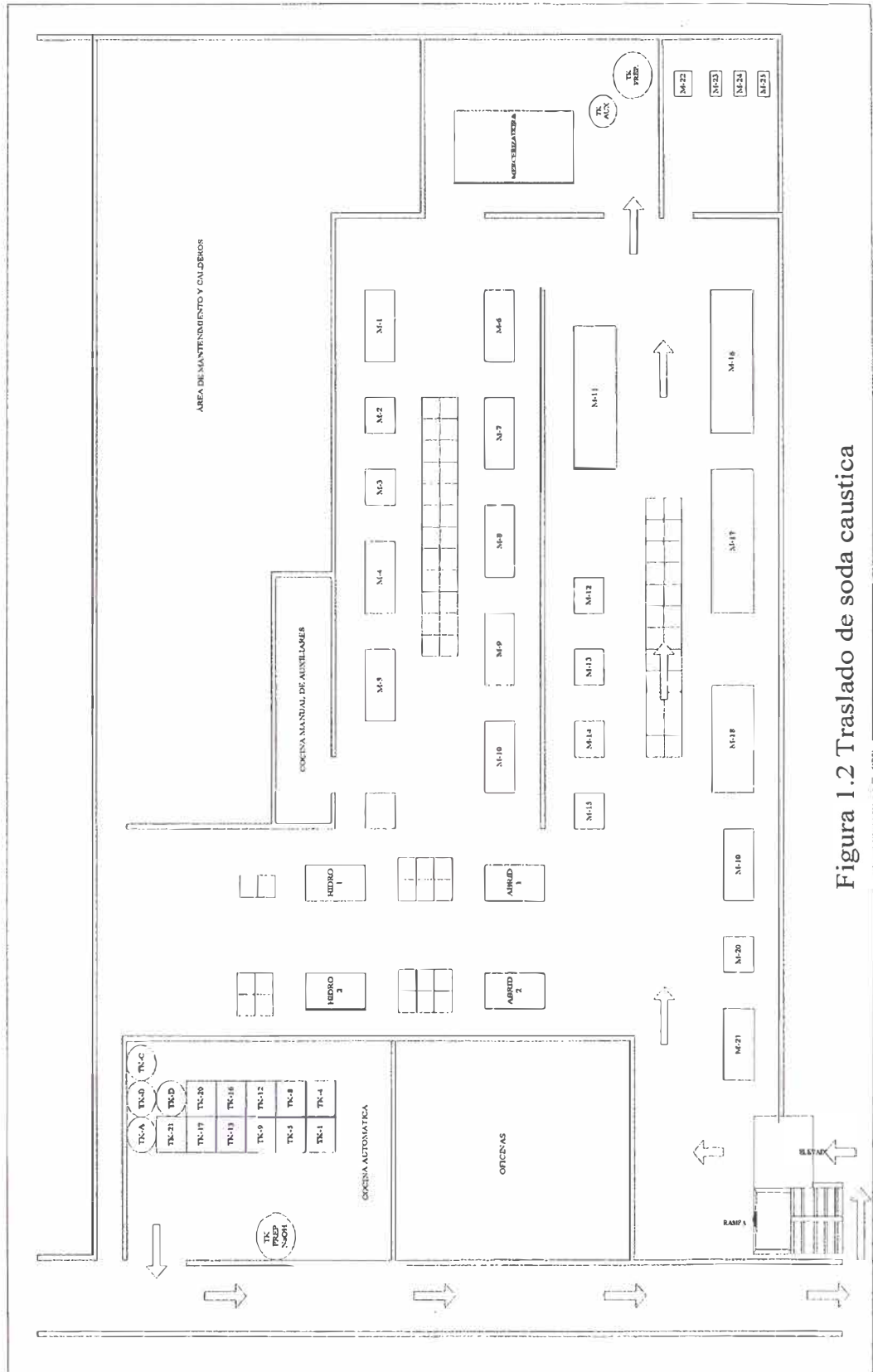
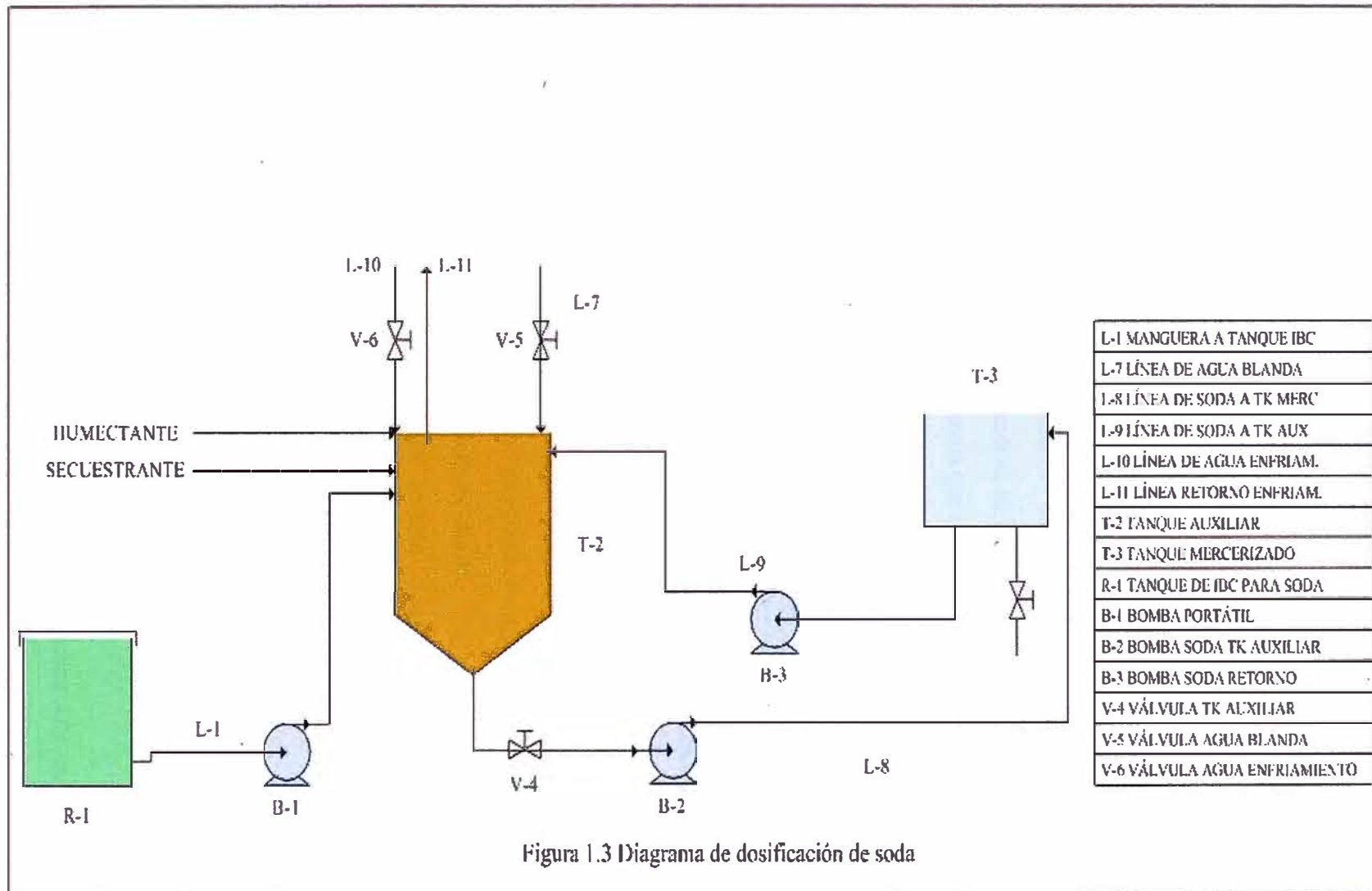


Figura 1.2 Traslado de soda caustica



II. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS

2.1. EL CONTROL AUTOMÁTICO¹

Automatización es la tecnología utilizada para realizar procesos o procedimientos sin la ayuda de las personas. La automatización en los procesos Industriales, se basa en la capacidad para controlar la información necesaria en el proceso productivo, mediante los mecanismos de medición y evaluación de las normas de producción. A través de diversos instrumentos controlados por la información suministrada por una computadora se puede regular el funcionamiento de las máquinas u otros elementos que operan el proceso productivo.

2.1.1. Objetivo del control automático

Los objetivos básicos que debe satisfacer cualquier sistema de control son:

- ✓ Alcanzar una operación segura. La seguridad de la operación es un requerimiento primario para evitar accidentes que puedan afectar al personal que trabaja en la planta y destruir parcial o totalmente la instalación productiva. Esta seguridad esta ligada a determinadas variables de operación tales como temperaturas, niveles, presiones o composiciones no superen unos determinados valores límite.
- ✓ Lograr una operación estable. Una operación sin grandes oscilaciones en las variables que pudieran llevar al proceso a situaciones peligrosas o a períodos durante los cuales el producto obtenido esta fuera de especificaciones.

¹ Este sub-capitulo se deriva de los siguientes textos:

Ollero P.; Fernández E., Control e instrumentación de procesos químicos, 1997. Editorial Síntesis S.A.

Creus A., Instrumentación Industrial, 6ta edición, 1998. Editorial Alfaomega S.A.

Acedo J, Control avanzado de procesos, 2003. Ediciones Diaz de Santos S.A.

Para lograr una operación estable la acción correctora sobre la planta debe tener la intensidad adecuada y debe efectuarse en el momento preciso. Una acción correctora excesiva o a destiempo da lugar normalmente a una desviación de sentido contrario mayor y a grandes oscilaciones.

- ✓ Impedir que se violen las restricciones de operación de los equipos para evitar el deterioro de los mismos o caídas de rendimiento inaceptables.
- ✓ La producción de la planta se ajuste a la demanda en cada momento, tanto en lo que se refiere a cantidad como a calidad del producto. El sistema debe actuar sobre el proceso para evitar que cambios en la composición de las materias primas, en el poder calorífico de un combustible o simplemente en la temperatura ambiente por ejemplo, provoquen que, durante el tiempo que duran esas perturbaciones, se pueda estar obteniendo un producto fuera de especificaciones que deba ser desechado o vendido a un precio inferior.
- ✓ Operar la planta en las condiciones óptimas, con aquellas con las que se consigue el menor coste de operación o el máximo beneficio. El problema está en que esas condiciones óptimas no son constantes, sino que dependen de los valores que tengan las variables de perturbación en cada momento.

El objetivo general de una planta es transformar unas materias primas en unos productos deseados de forma segura, económica y respetuosa del medio ambiente. Para lograrlo, los equipos que integran la planta deben operarse correctamente desde que la planta arranca hasta que, después de un período de tiempo más o menos largo, se para hacer una revisión general, reparar algún equipo o por cualquier otro motivo. Durante ese período de funcionamiento la planta está sujeta a perturbaciones o

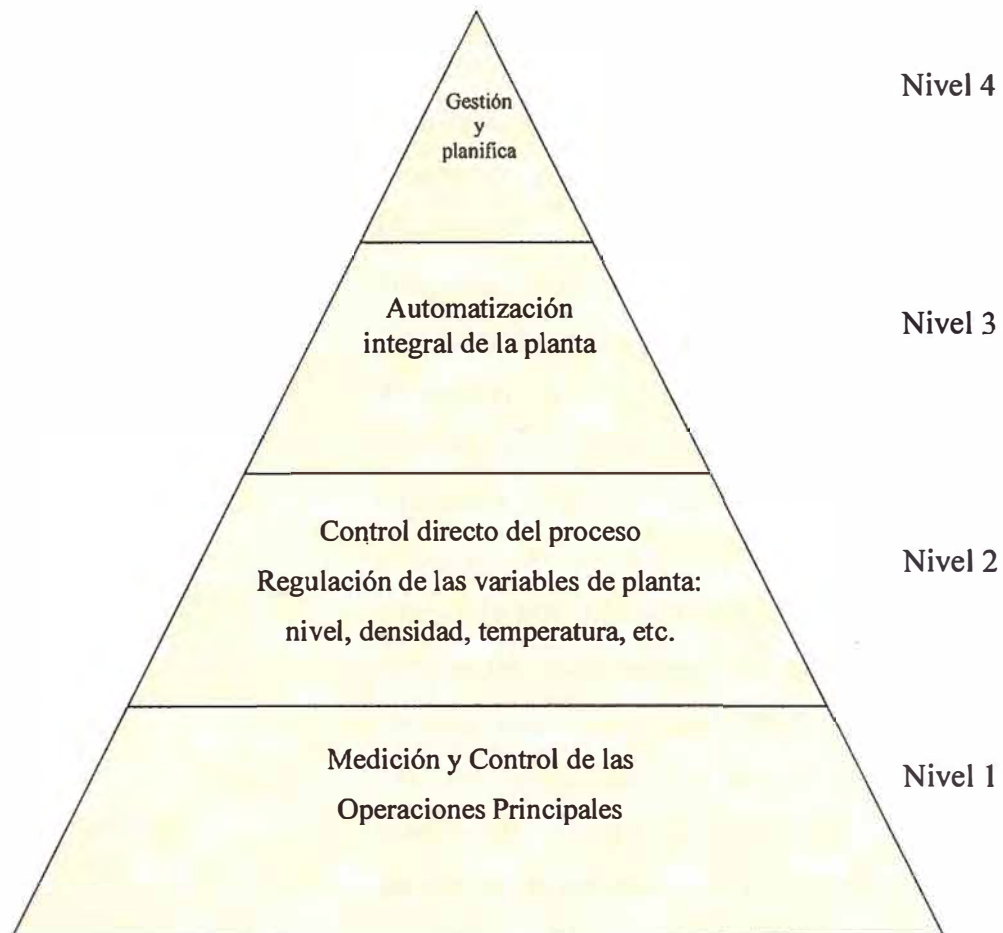
influencias externas inevitables tales como cambios en la composición de la materia primas, cambios en la cantidad o en la calidad del producto fabricado, cambios en la calidad del vapor suministrado, etc. Estas perturbaciones obligan a ejercer una vigilancia continua sobre el proceso y también a actuar constantemente sobre el mismo al objeto de corregir las desviaciones que se detecten.

2.1.2. Niveles de automatización

Los niveles de automatización son el desarrollo tecnológico para buscar mejores caminos para el control de procesos industriales.

- a) Nivel 1: Medición y control de las operaciones principales.
Este nivel esta constituido por la medida y monitoreo del proceso (dispositivos de campo). A este nivel corresponde el control relativo a la adquisición de datos “in situ” o a distancia.
- b) Nivel 2. Control directo del proceso.
Este nivel esta constituido por los dispositivos de control para la regulación de las variables de la planta: nivel, densidad, temperatura, flujo, etc.
- c) Nivel 3. Automatización integral de la planta (supervisión y monitoreo).
Supervisión a las operaciones en el tiempo real, es la información en sus diferentes contextos de operación, normal, alerta y de emergencia.
- d) Nivel 4. Gestión y planificación.
Se dan facilidades para acceder a todos los elementos de estas configuraciones, a través de Internet. Aquí se procesa gran cantidad de puntos de datos y hay flexibilidad en relación a cambios y mejoras.

Ver esquema 2.1



Esquema 2.1 Niveles de automatización

2.1.3. Sistemas de control clásicos

2.1.3.1. Componentes del sistema de control

El sistema de control automático de cualquier proceso está constituido por cuatro tipos de elementos básicos:

a. Sensor

Los sensores son los instrumentos que miden las variables a controlar, las variables de perturbación y las variables secundarias a partir de los cuales se

infiere el valor de otras que no pueden medirse directamente o que es muy costoso hacerlo. Los sensores se basan en la medición de un fenómeno físico cuya magnitud está relacionada con el valor de la variable que se desea medir.

b. Transmisor o transductor

El efecto físico producido en el sensor no suele ser directamente utilizable como señal que pueda ser procesada por el controlador para calcular la acción de control. Antes es preciso convertir la magnitud del efecto físico en una señal estándar eléctrica, neumática o digital, que pueda ser transmitida a distancia sin verse perturbada y que pueda ser entendida por un controlador, un registrador o un sistema de monitorización de cualquier fabricante. De esta tarea se encarga el transmisor que en el caso del caudalímetro de placa de orificio (transmisor de presión diferencial), convertiría la diferencia de presión existente entre las dos tomas de presión en una señal estándar eléctrica 4-20 mA o neumática 3-12 psi.

c. Controlador

El controlador recibe la señal correspondiente a la variable medida y calcula la acción de control de acuerdo al algoritmo de control que se haya programado en él. Ese cálculo se traduce en un valor determinado de la señal estándar de salida que se envía al elemento final de control. Hasta hace relativamente pocos años todos los controladores eran analógicos, esto es, recibían, procesaban y enviaban señales eléctricas o neumáticas continuas

en el tiempo. Hoy, la mayoría son digitales y están equipados con convertidores AD (analógico-digital) y DA (digital-analógico) para poder recibir señales analógicas eléctricas, convertirlas en señales digitales, procesar las señales digitales y convertirlas de nuevo en señales analógicas estándar que se envían a los elementos finales de control.

d. Actuador o elemento final de control

Este elemento es el que manipula la variable de proceso de acuerdo con la acción calculada por el controlador, la cual le llega, como se ha comentado, en forma de señal analógica estándar. En procesos químicos la variable de proceso manipulada suele ser el caudal de una corriente y por ello el elemento final de control más utilizado es la válvula de control. Otra forma de manipular caudales es por medio de bombas, compresores y soplantes dotados con motores de velocidad variable. Para sólidos se emplean tornillos sinfín y válvulas alveolares movidos también con motores de velocidad variable.

2.1.3.2. Control de lazo abierto

En estos sistemas la variable controlada no se retroalimenta para fines de control. La conformidad entre el valor alcanzado por la variable controlada y su valor de referencia (la exactitud) depende de la calibración, y consiste en establecer una relación entre la variable manipulada y la variable controlada. Estos sistemas sólo son útiles en ausencia de perturbaciones.

Figura 2.1

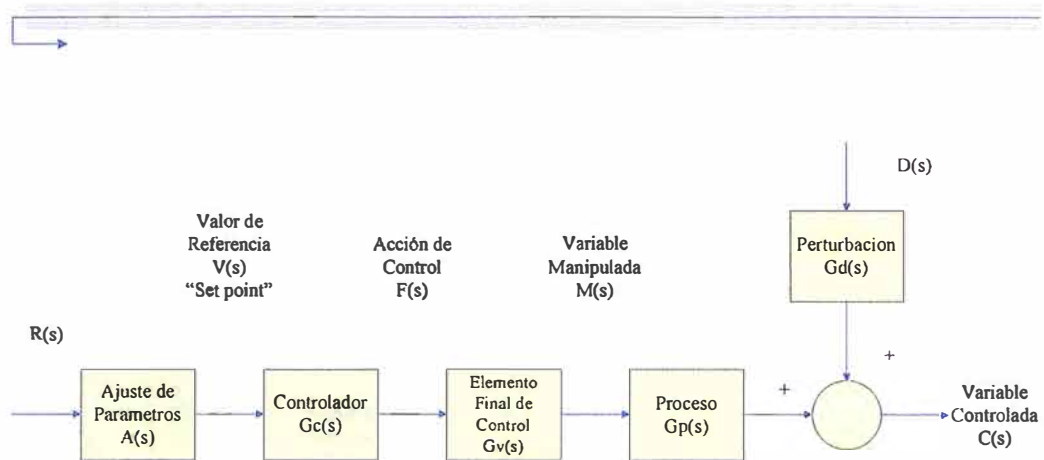


Figura 2.1: Diagrama de bloques de Sistema de Control de Lazo Abierto

2.1.3.3. Control por retroalimentación o cerrado

La presencia de perturbaciones en un proceso, hace poco aplicable el control de lazo abierto. En su lugar se utiliza el control de lazo cerrado con retroalimentación negativa cuyo principio de funcionamiento consiste en medir la variable controlada, convertirla en señal y retroalimentarla para compararla con la señal de entrada de referencia. La diferencia entre ésta y la señal retroalimentada constituye la señal de error, la cual es empleada por el controlador para calcular la variación que debe hacer en la variable manipulada para restablecer la variable controlada en su valor de referencia. Figura 2.2

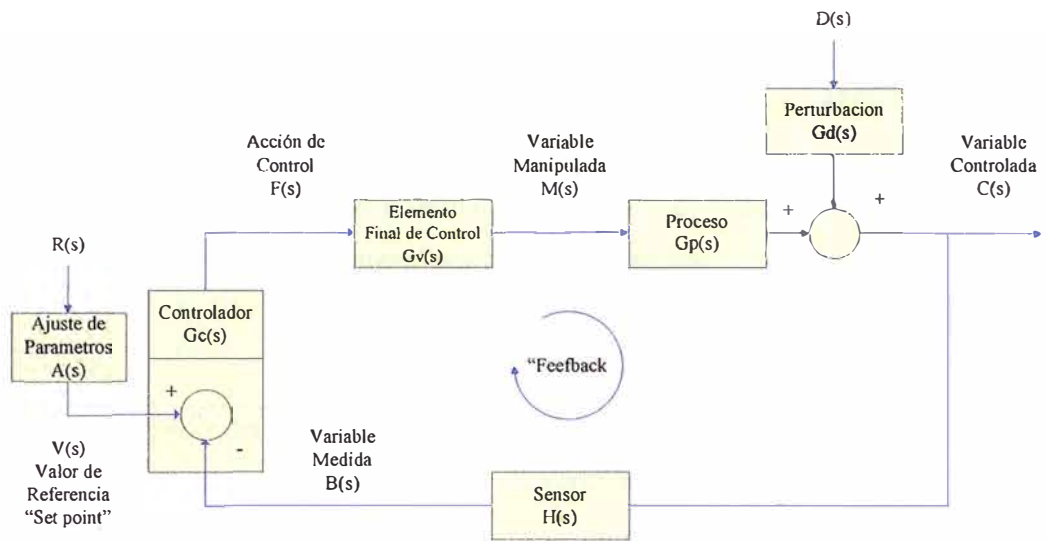


Figura 2.2: Diagrama de bloques de Sistema de Control de Retroalimentación

Por su propia naturaleza esta estrategia de control es incapaz de corregir un desvío al momento de ser detectado.

En cualquier proceso, por más simple que sea, habrá siempre un retraso en la actuación sobre la variable manipulada y consecuente efecto sobre la variable controlada, cuando este retraso fuese substancial y el proceso está sujeto a frecuentes perturbaciones, estas deberán ser encontradas y corregidas para mantener la acción controlada, un control teóricamente perfecto; justamente por que es necesario que ocurra un desvío antes que la acción correctiva pueda dar el valor de la variable manipulada necesaria para establecer el equilibrio. Esto es encontrado por el método de tanteo y error, pues, el controlador observa el efecto de la salida sobre el nuevo valor de la variable controlada

La eficiencia del control por retroalimentación, depende de la ganancia del controlador en forma dinámica y está en relación a la frecuencia y amplitud de las perturbaciones encontradas.

En la tabla 2.1 veremos las ventajas y desventajas del control por retroalimentación

Ventajas	Desventajas
No es necesario tener conocimiento a priori de la dinámica del proceso.	Solo se produce corrección cuando la variable controlada se ha desviado de su punto de consigna. Por lo tanto, es imposible evitar el error inicial en la variable controlada.
Se produce acción correctora ante cualquier perturbación que afecte a la variable controlada	El controlador no puede adelantarse a las perturbaciones aunque estas pueden ser conocidas y medidas.
El control PID es un sistema muy robusto. Para aparezcan inestabilidades han de producirse cambios importantes en la dinámica del proceso.	El comportamiento no suele ser aceptable en procesos con grandes retardos puros.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas del control retroalimentación

2.1.3.4. Control de acción adelantada

La idea de corregir en función del error observado en las variables controladas (control por retroalimentación), no es la única que puede aplicarse para controlar procesos. Existe otra idea básica

consistente en actuar sobre el proceso en función de las perturbaciones observadas, el llamado control anticipativo. El término "anticipativo" se refiere precisamente a que no hay que esperar a que se produzca un error para empezar a compensar se actúa desde el momento en que se detecta el cambio en la variable de perturbación. Que los elementos físicos o instrumentos básicos necesarios para montar el sistema, son los mismos que en un sistema de control por realimentación: sensores y transmisores para medir la variable; de perturbación y enviar las señales correspondientes a los controladores, en los que se aplica el algoritmo de control anticipativo que determina en cada momento la posición de las válvulas de control.

El control anticipativo es teóricamente capaz de un control perfecto del proceso, en contraposición con el control por realimentación que requiere que haya error para empezar a corregir o compensar el efecto de las perturbaciones. Sin embargo, en la práctica no es posible alcanzar ese control perfecto por varias y poderosas razones. En primer lugar el sistema de control tendría que medir todas las perturbaciones al proceso y actuar en función de ella, obviamente esto es imposible, ya que en un proceso real hay muchas perturbaciones, algunas de las cuales ni son medibles o requieren unos instrumentos muy costosos para hacerlo. Por otra parte, todos los instrumentos presentan errores de medidas inherentes que una acción de control basada en una medida con error que le perturba pero nunca puede ser perfecta. Por último algoritmo de control

tampoco es perfecto ya que se obtiene a partir de un modelo teórico o empírico del proceso, que representa sólo una aproximación al comportamiento real del mismo. Como el sistema de control anticipativo no es perfecto, es claro que será incapaz de evitar un error en la variable controlada. Por esta razón en la práctica se emplea conjuntamente con el control por realimentación, que se encarga de corregir el efecto de las perturbaciones no medidas y de compensar el efecto de las imperfecciones inherentes al control anticipativo. Figura 2.3

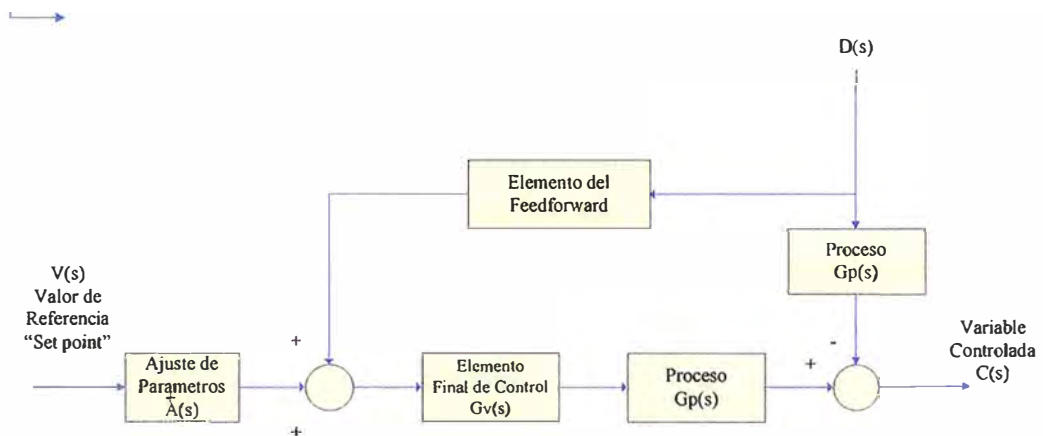


Figura 2.3: Diagrama de bloques de Sistema de Control Adelantada

2.1.3.5. Control en cascada

El control en cascada consta de dos lazos de control retroalimentados una de las cuales es interior a la otra. Su finalidad es mejorar el desempeño de un lazo de control retroalimentado que no funciona satisfactoriamente, aunque su controlador esté bien

sintonizado, debido a la lentitud de respuesta de su variable controlada que entran en puntos diferentes del lazo y cuyo efecto negativo sobre la variable controlada es lento en ser detectado, desmejorando la controlabilidad.

En el control en cascada se diseña un lazo de control interno al lazo de control de la variable controlada principal, y su finalidad es neutralizar, en su punto de origen, algunas perturbaciones impidiéndoles su propagación hacia el proceso principal. Lo anterior puede llevar a pensar que el control en cascada es un feedforward elaborado con feedbacks, lo cual no es cierto, pues el feedforward trabaja con una variable perturbadora externa al sistema y el control en cascada trabaja con una variable perturbadora interna del mismo sistema. Una de sus principales aplicaciones es en procesos donde la variable manipulada es un fluido de servicio (como el agua o el vapor) sometido a perturbaciones. Alrededor de esta se cierra al lazo secundario.

En el control en cascada la salida del controlador del lazo externo ó principal, llamado el controlador maestro, fija el punto de referencia del controlador del lazo interno ó secundario, llamado el controlador esclavo.

Mientras que el modo de control PID es efectivo para el mantenimiento de varios sistemas de control, otros requieren controles más sofisticados.

El control en cascada es a menudo usado para controlar un proceso en forma más precisa. En el control en cascada, una segunda variable es monitoreada en

adición con la primera variable controlada. Esta segunda variable es la que más rápidamente refleja cualquier cambio en el ambiente del proceso. Figura 2.4

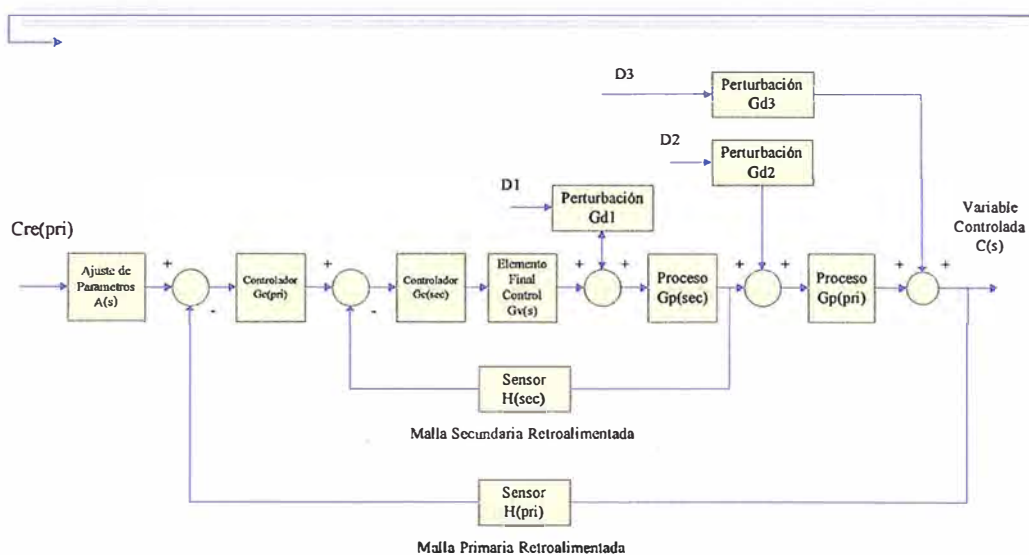


Figura 2.4: Diagrama de bloques de Sistema de Control en Cascada

Para usar el control en cascada, este debe cumplir con ciertos requisitos:

- ✓ El sistema bajo control pueda dividirse en dos procesos más simples, para cerrar alrededor de ellos los lazos de control principal y secundario.
- ✓ El lazo secundario incluye el mayor número de perturbaciones sin llegar a decrecer demasiado su velocidad de respuesta.
- ✓ El lazo secundario de respuesta más rápido que el lazo primario. Como regla práctica se puede tomar que el proceso secundario debe tener respuesta dinámica no mayor que $1/3$ del tiempo de respuesta

del proceso primario, en el caso ideal debe estar entre la quinta y décima parte.

- ✓ La variable secundaria seleccionada debe proporcionar una estabilidad al control primario con la ganancia más alta posible.
- ✓ Los puntos de consigna de la variable secundaria, deben estar relacionadas directamente con los de la primaria y de ser posible su relación debe estar representado por una recta antes que por una línea curva para simplificar el ajuste del controlador primario.

Ventajas

- Las perturbaciones en el lazo interno o secundario son corregidas por el controlador secundario, antes de que ellas puedan afectar a la variable primaria.
- Cualquier variación en la ganancia estática de la parte secundaria del proceso es compensada por su propio lazo.
- Las constantes de tiempo asociadas al proceso secundario son reducidas drásticamente por el lazo secundario.
- El controlador primario recibe ayuda del controlador secundario para lograr una gran reducción en la variación de la variable primaria.

2.1.3.6. Control de relación

El control de relación se usa para controlar una variable en una proporción fija con otra variable que no se controla. Generalmente las variables que se desean

mantener en una relación fija son los rangos de flujos de dos corrientes, una de las cuales, la que no se controla, esta sometida a perturbaciones frecuentes porque proviene de una unidad de producción.

El control de relación puede hacerse una división o una estación de relación, en el primer caso se introduce un componente no lineal en el lazo de control por lo que resulta no recomendable.

En muchos procesos de producción el involucramiento del flujo de materiales se hace a través de tuberías, esto a menudo es necesario para mezclar los materiales en una relación deseada.

En el control de relación, uno de los componentes fluye en la relación requerida por otras partes del proceso. Esto es conocido usualmente como "flujo libre". La velocidad del flujo del segundo componente, sin embargo, es controlada. Este flujo controlado, está mantenido a la velocidad que resultará en la relación requerida de materiales para la mixtura.

Un controlador de relación tiene dos entradas, un sensor localizado en el flujo libre. Provee una señal representando la velocidad del flujo para el controlador, y un sensor en el flujo controlado que también provee una señal representando su velocidad al controlador. El controlador tiene un punto de referencia para mantener la velocidad del flujo controlado en relación con el flujo libre. Esto se mejora usando un control básico realimentado.

La relación de materiales deseado es sensado ajustando el punto de referencia de relación. Figura 2.5

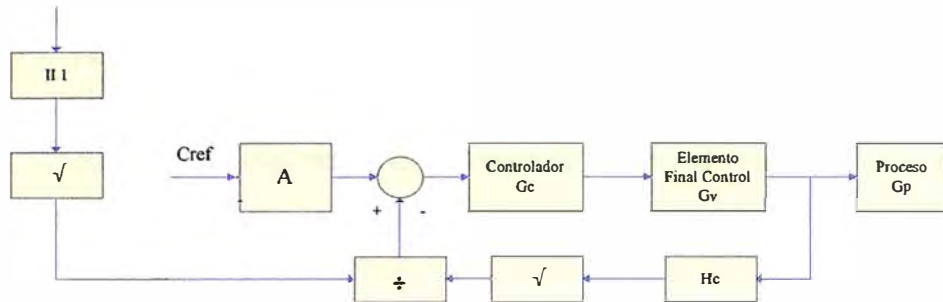


Figura 2.5: Diagrama de bloques de Sistema de Control de Relación

A continuación mencionaremos algunas de las aplicaciones del control de relación:

- ✓ Mantener constante la relación de dos corrientes que se mezclan para garantizar la composición de la corriente que resulta de la mezcla.
- ✓ Conservar constante la relación de reflujo en una torre de destilación.
- ✓ Sostener la relación entre el rango de flujo de alimentación y el rango de flujo de vapor en el rehervidor de una torre de destilación (FIV).
- ✓ Conservar el rango de flujo de líquido al rango de flujo de vapor (LIV) en la torre de absorción.
- ✓ Mantener la relación óptima entre los rangos de flujo de combustible y aire en una caldera.

2.2. EL MERCERIZADO²

Es un acabado de acción permanente sobre textiles elaborados a base fibra celulósica, especialmente sobre hilo y tejidos de algodón puro o en mezcla con otros tipos de fibras apropiadas. El mercerizado es un proceso de hinchamiento y dispersión controlada de la celulosa, de los cuales las soluciones acuosas concentradas de hidróxido de sodio son las que mayor éxito industrial y comercial han tenido hasta la fecha, desde que Jhon Mercer, su creador, patentó y publicó este proceso por el año de 1844.

En la actualidad, el mercerizado más común es un proceso que implica el uso de una solución acuosa de hidróxido de sodio a concentraciones de 28–32 °Bé. En realidad las fibras celulósicas y específicamente el algodón se hinchan hasta cuando son sumergidas en el agua pura, hasta alcanzar un aumento aproximado en el diámetro de la fibra de un 20%, pero este hinchamiento es reversible.

2.2.1. Fundamentos teóricos del proceso de mercerizado

En términos generales, el hinchamiento de la celulosa implica siempre la ruptura de muchos puentes de hidrógeno, normalmente existen entre cadenas moleculares adyacentes, es decir puentes de hidrógeno intermoleculares.

Ya se ha dicho que el hinchamiento, puede ser causado por soluciones acuosas simplemente, es decir que el rompimiento de tales puentes de hidrógeno puede ser causados por el agua de

² Este sub-capítulo se deriva de los siguientes textos:

Clases de la especialidad de Ing. Textil, Fundamento teórico del mercerizado.

Barraza W., Sistema de recuperación de soda cáustica en el proceso de mercerizado.

Nava G., Mercerización de hilados y tejidos, 2006. 1 Cd.

Escobar C., Blanqueo, tintorería, acabados y estampados textiles.

hinchamiento sin la necesidad de que esta contenga agente químico alguno, sin embargo, el grado de hinchamiento producido depende mucho del agente hinchante utilizado, así también como de la morfología de la fibra (el algodón concretamente).

Cuando el agente hinchante es retirado o removido mediante un lavado acuoso o por otros medios, la celulosa, después de contraerse queda en la condición de la llamada celulosa II o celulosa hidratada $[(C_6H_{10}O_5)H_2O]_n$, también en algunos casos puede revertir a celulosa I. Pero en todos los casos se llega a producir en las fibras una estructura más fina y más accesible, dependiendo además las propiedades obtenidas en la fibra, de la forma o del método utilizado para remover el agente hinchante utilizado.

El proceso del mercerizado del algodón debe ser considerado como un fenómeno de orden físico – químico, toda vez que la fibra mercerizada, si bien difiere claramente en la morfología que originalmente tenía, ella no sufre un cambio químico que altere su naturaleza, aun cuando durante el proceso mismo se dan fenómenos químicos como la formación de la celulosa II y también fenómenos físicos – químicos, como es el hidratamiento considerable de la fibra.

Además de los cambios estructurales, como es el nuevo arreglo o la nueva disposición de las láminas o placas de la celulosa formados por las cadenas macro moleculares, el resultado final del proceso es el que corresponde a la formación de hidrato de celulosa o celulosa hidratada $C_6H_7O_2(OH).2H_2O$, la cual desde el punto de vista químico es igual a la celulosa original $C_6H_7O_2(OH)_3$ y esta modificada sólo a nivel morfológico, por lo tanto sólo ha cambiado en algunas propiedades físicas.

La reacción de la celulosa con soda cáustica es como sigue:

nuevo estado reorientado, resultando así la fibra más expandida, más reorientada, más accesible y más reactiva debido a que también se ha formado cristales más pequeños con mayor número de enlaces residuales internos, a todo lo cual se ha llamado celulosa II. La celulosa mercerizada sufre un apreciable aumento de volumen, por ejemplo el aumento de sección transversal es del orden del 40-50% mientras que el aumento en sentido longitudinal, en la misma fibra es apenas del 1-2%. También resultan incrementados los llamados poros de la superficie de la fibra.

La solución de los hidróxidos de otros metales alcalinos como son el litio, el potasio, el rubidio, el cesio, producen también el mismo efecto, pero con diferentes grados de hinchamiento en la celulosa, siendo esto dependiente del grado de hidratación de sus respectivos iones. El que mayor grado de hinchamiento propicia es el litio, luego el sodio, el potasio, etc.; en ese orden todos ellos pertenecientes al grupo de los metales alcalinos, tal como se puede apreciar en la tabla 2.2

Hidróxido	Concentración a las cuales produce el máximo grado de hinchamiento	Aumento producido en el diámetro de la fibra
LiOH	9.5 g/100 g de solución 4.0 mol/L	97%
NaOH	18.0 g/100 g de solución 4.5 mol/L	78%
KOH	32.0 g/100 g de solución 5.8 mol/L	64%
RbOH	38.0 g/100 g de solución 3.8 mol/L	53%
CsOH	40.0 g/100 g de solución 2.7 mol/L	47%

Tabla 2.2 Efecto hinchante sobre la celulosa de los hidróxidos de los metales alcalinos.

2.2.2. Efectos del mercerizado en la celulosa .

Los efectos y cambios producidos en la celulosa pueden resumirse en los siguientes:

- 1) El textil mercerizado adquiere un brillo o lustre permanente, muy semejante al de la seda natural, dicho brillo se presenta siempre y cuando se aplique tensión durante el proceso.
- 2) Se opera un incremento significativo en la reactividad química, en general, de la fibra.
- 3) La afinidad de la fibra hacia los colorantes, en general, resulta bastante incrementada.
- 4) Se produce un encogimiento que se traduce en un aumento de la densidad del tejido, así como también en el tacto y espesor del mismo, siempre que no se someta a una tensión al textil, durante el mercerizado.
- 5) Hay un considerable aumento de la resistencia mecánica, es decir a la rotura por tensión o tracción, aumento que normalmente llega a un 20%. Hay también un aumento de la resistencia a la abrasión, que se traduce en una mayor duración frente al uso.
- 6) En general se logra una importante mejora en la capacidad giroscópica de la fibra, lo que repercute en una mayor uniformidad de tintura del llamado algodón muerto, que esta siempre presente en casi todos los algodones comunes, esta realidad es muy deseada para un perfecto acabado del textil.
- 7) Un tejido adecuadamente mercerizado se caracteriza también por tener una mayor estabilidad dimensional, así como también una mayor resistencia a la formación de arrugas, comparado con los textiles celulósicos sin mercerizar.

- 8) Un aumento de la zona amorfa si se deja que el algodón encoja libremente.
- 9) Disminuye el grado de orientación.
- 10) Se altera el retículo cristalino.

En resumen, el algodón mercerizado es, generalmente más fuerte mecánicamente, más lustroso, tiene una mayor sustentividad por los colorantes y es más reactivo como resultado de su expansión y reorientación interna. Un textil de algodón mercerizado aparece de un color más intenso que la que no esta, cuando, ambas fibras son teñidas con la misma cantidad del mismo colorante, la diferencia en el matiz es característica de cada colorante.

2.2.3. Parámetros en el proceso de mercerizado

2.2.3.1. Concentración de la lejía

La concentración de la solución es el factor determinante más destacable del proceso.

Las soluciones de hidróxido de sodio a 21°Bé tienen la mayor acción hinchante sobre la celulosa, estas concentraciones no son altas pero resultan suficientes para producir el mejor efecto. No obstante, esta concentración no es conveniente industrialmente. Se prefiere en la practica industrial, NaOH en solución acuosa de 28–32 °Bé, concentraciones que si bien no producen el mayor grado de hinchamiento en la celulosa, resulta ser preferido debido a que durante el mercerizado hay una preferente adsorción de la soda cáustica (y no del agua) por parte de la celulosa, siendo así el exceso de

hidróxido de sodio necesario para mantener constante la mínima concentración de la lejía con el fin de obtener un óptimo mercerizado.

Por otro lado, el efecto hinchante de la solución alcalina del mercerizado depende mucho de la temperatura del medio, pues a medida que disminuye la temperatura, la acción de la lejía sobre la celulosa mejora. Así por ejemplo, se puede conseguir muy buenos efectos de mercerizado a temperaturas menores de 12 °C con lejías de menores concentraciones a la que se ha considerado normal.

En la práctica industrial, como se ha mencionado se consideran lejías con concentraciones óptimas de trabajo, las que están en el rango de 28-32 °Bé, sin embargo durante el mercerizado, las lejías con concentraciones de hasta 8-10 °Bé (zona de estabilización) presentan todavía una clara acción hinchante o mercerizante y sólo cuando el lavado continua y las lejías se van tomando más diluidas hasta por debajo de 8 °Bé, se podrá considerar que ya no hay acción hinchante.

La concentración de la lejía en el baño de mercerizado se mide mediante el uso del densímetro o mediante el uso de aparatos que miden la densidad de la soda que por ende da la concentración de la lejía; y para controlar dicha concentración se inyecta soda cáustica más concentrada que el baño de mercerizado.

2.2.3.2. Temperatura del mercerizado.

La temperatura del mercerizado se puede fijar en 12°C ó 15°C pero se consideran normales, temperaturas de 18°C hasta de 21°C, sin embargo, mucho más importante que la elección de algunas de estas temperaturas de trabajo es mantenerlas constantes durante todo el tiempo que dure el proceso. Al variar la temperatura durante el curso del proceso, así como también la concentración de la lejía, se tendrá un mercerizado no uniforme debido a un variado grado de hinchamiento y penetración de la lejía.

Durante el mercerizado se obtiene un constante aumento de temperatura de la solución de soda, por tratarse de un proceso exotérmico, al reaccionar el textil con la lejía, también al reaccionar la lejía con las impurezas (ceras, pigmentos, etc.) propias del textil y como consecuencia de mantener la concentración de lejía en el baño de mercerizado se dosifica lejía de mayor concentración que reacciona de forma exotérmica con el agua del proceso, lo cual influye negativamente sobre el efecto mercerizante. Por ello, es muy importante una refrigeración constante de la lejía mercerizada para garantizar, en todo momento, una temperatura adecuada de trabajo.

Con tal objeto, las instalaciones mercerizadoras disponen del correspondiente equipo de enfriamiento a base de amoníaco o de freón 12. Así mismo, las tinas o zonas de mercerizado

llevan chaquetas de circulación de aguas frías, con la finalidad no solamente de impedir la subida de temperatura sino también de mantenerlas constantes durante todo el proceso. En esta forma la lejía circula en circuito cerrado, luego de pasar por el sistema refrigerante, los sistemas de control de la concentración, etc. Para volver a la zona del mercerizado nuevamente.

2.2.3.3. Tiempo necesario para el mercerizado

Se consideran normales y suficientes para producir la penetración de la lejía al textil y el consiguiente hinchamiento de la celulosa, tiempos de mercerizado de 30 a 50 y hasta 60 segundos, para la practica industrial. Sin embargo, estos tiempos dependen mucho de las otras condiciones operativas del proceso, principalmente de la hidrofiliidad que presenta la fibra, debido a procesos previos de acondicionamiento como el descolado, gaseados, pre humectado, etc.

Considerando estos a la fecha como etapas previas muy importantes con miras a un efectivo mercerizado. En tal sentido se considera esencial el empleo simultáneo con la lejía de los llamados agentes humectantes del mercerizado, los que son muy necesarios especialmente cuando se merceriza el textil en el estado crudo. Se trata de agentes tenso activos con un especial comportamiento en los baños mercerizantes de

alta concentración de hidróxido de sodio, de modo que no hagan perder su rendimiento, tampoco deben producir espuma ayudando así a un adecuado hinchamiento del textil.

El tiempo necesario de mercerizado se controla mediante la velocidad de ingreso del textil.

2.2.3.4. Efecto de la tensión en el mercerizado

Cuando los hilos o los tejidos de algodón son mercerizados sin aplicarles tensión se produce en ellos un encogimiento del orden del 20% en promedio, pero cuando mediante la aplicación de tensión se impide dicho encogimiento entonces aparece el brillo característico del algodón mercerizado semejante al de la seda natural, cualidad que resulta muy valiosa en este acabado, el mismo que se forma como un efecto permanente, ya sea que se mantiene invariable en su aspecto pese al continuo uso y sucesivos lavados de la prenda.

La aparición del brillo en la fibra mercerizada esta pues relacionada con la tensión aplicada al textil especialmente durante la etapa de la impregnación o mercerizado propiamente dicho, también en las siguientes etapas de estabilización y enjuague desde la lejía mercerizante conserva todavía una concentración mayor de 8-10 °Bé, que es capaz de producir hinchamiento en la fibra.

Al entrar al baño mercerizado la fibra comienza a hincharse considerablemente, al perder sus

torsiones naturales y con ello también el lumen tiende a desaparecer hasta quedar reducido casi a un punto, la fibra en su sección transversal se acerca a la forma circular.

Si a la fibra se le aplica con tensión en forma simultánea durante estos cambios entonces aparece el incremento del brillo. La superficie externa que originalmente es (así plana) semejante a una cinta aplanada, gracias a la tensión aplicada a todo el conjunto, primero tomando una forma casi cilíndrica en su aspecto externo enfatizando esto con la forma semi circular de su sección transversal.

Cuando no se aplica tensión al textil durante el mercerizado se produce igualmente los mismos cambios morfológicos por el hinchamiento, pero el brillo no aparece o no se incrementa. Cuando la tensión aplicada se hace en diferentes grados de intensidad, entonces el brillo obtenido será también de irregular magnitud.

La adopción de una forma circular de la sección transversal de la fibra o también de una forma (así cilíndrica) en la forma general de la misma como consecuencia del mercerizado, es muy importante por cuanto ello conlleva a la desaparición definitiva de las contorsiones naturales que le son características y es evidente que tal efecto solamente se le presenta con el caso de un hinchamiento como el mercerizado. Cuando una fibra natural como el algodón se sumerge en agua caliente, ocurre efectivamente

tal distorsión o descontorsión, pero luego al retirarse la fibra del agua caliente y lavarla posteriormente en frío, reaparece las mismas, lo cual no sucede en el caso del mercerizado. Este simple hecho puede servir para distinguir una fibra mercerizada de otra que no lo esta, al ser analizada en un microscopio en una vista longitudinal y también en corte transversal, pudiendo así reconocerse inequívocamente ambas fibras.

La tensión se controla a la salida de la etapa de reacción mediante el ingreso de aire en el textil (formación de un globo) y en otros casos mediante el aumento o disminución del diámetro de los anillos de estiramiento por donde pasa el textil.

2.2.4. Etapas del mercerizado

En el caso del mercerizado de tejido punto no es necesario que el tejido ingrese humectado sino más bien puede entrar crudo. En esta etapa previa de preparación de tejido se debe lograr que el textil este perfectamente planchado, sin arrugas ni pliegues, con anchos normales y sobre todo sin huecos.

La tecnología general del mercerizado de acuerdo al fundamento teórico del mismo, comprende varias etapas secuenciales completamente diferentes ver figura 2.6, así tenemos:

- a) La etapa de impregnación.- Zona del mercerizado propiamente dicho, en donde el textil entra en contacto con la solución concentrada del NaOH, a temperatura

óptima, durante el tiempo necesario para producir el máximo hinchamiento de la celulosa. En esta zona se viene usando ciertos tenso activo, auxiliares importante por su condición de agente humectante.

- b) La etapa de reacción.- Zona donde se realizan las reacciones químicas, y donde debe permanecer entre 30 – 60 seg.
- c) La etapa de estabilización.- Es en la cual la lejía mercerizada queda disminuida hasta valores de 8-10 °Bé aproximadamente, concentración debajo de la cual ya no existe condiciones mercerizante, a la que se llega mediante el ingreso de agua de lavado.
- d) La etapa de enjuague.- Es la zona en la cual el textil recibe un baño de agua caliente. Posteriormente a esta zona, la tela recibe un baño de solución ácida para su neutralización, esto se logra mediante una solución acuosa diluida de un ácido mineral como el sulfúrico, puesto que mediante un simple enjuague no es posible eliminar totalmente el hidróxido de sodio absorbido por el textil. Se puede dejar de lado esta neutralización si luego pasa a la etapa de tratamiento alcalino para el respectivo blanqueo o descrude.

Proceso de Mercerizado

DORNIER

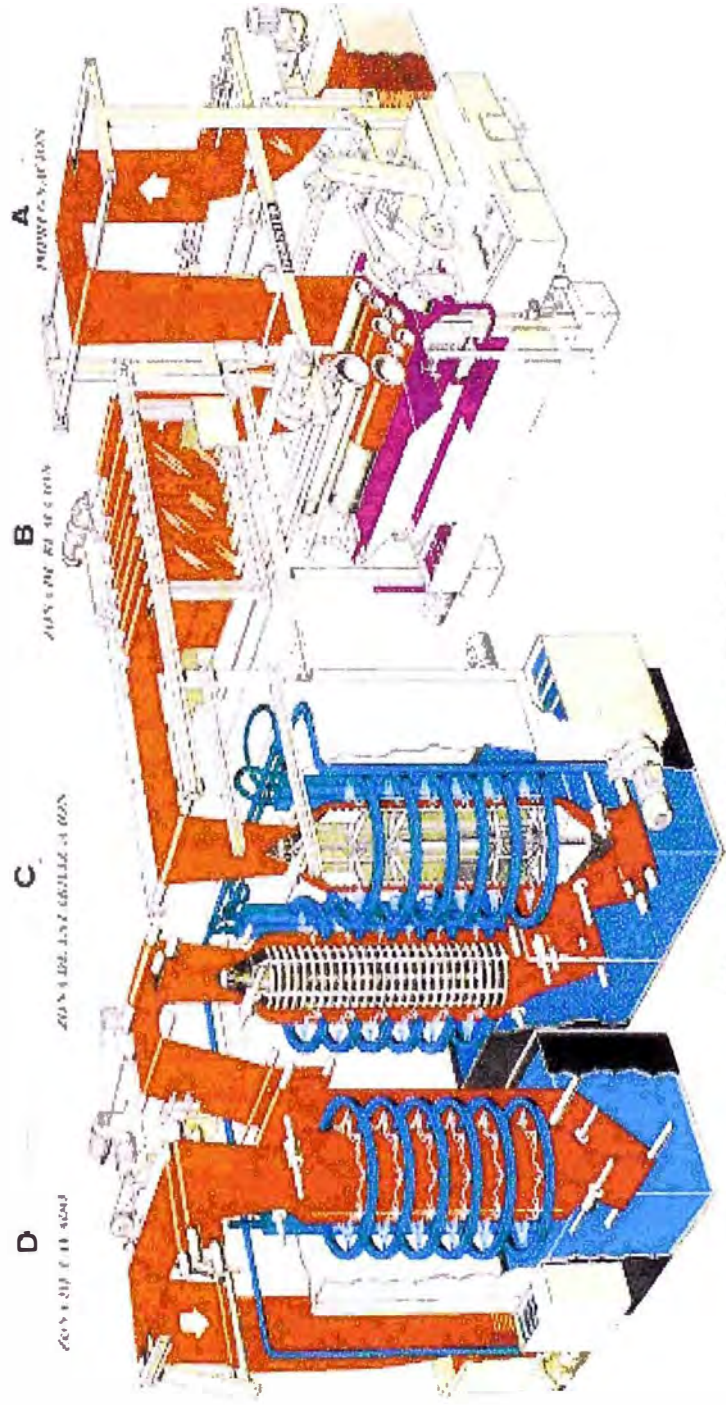


Figura 2.6 Mercerizadora tubular

III. DESARROLLO DEL TEMA

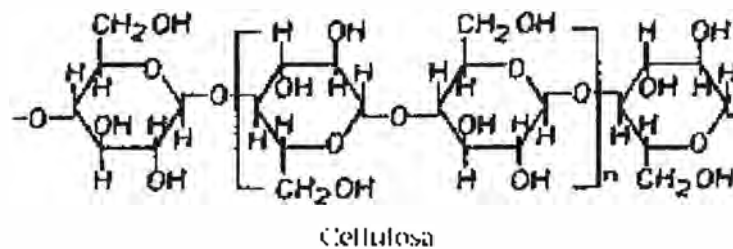
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA, INSUMOS Y PRODUCTO

3.1.1. Tela cruda

El algodón se clasifica por: longitud de fibra, resistencia, impurezas, finura, madurez, color, néps, torsión de la fibra, pegajosidad, elasticidad y uniformidad. Sus principales defectos son: impurezas, fibras cortas, fibras inmaduras, fibras muertas.

La composición del algodón lo podemos ver en la tabla 3.1

Todas estas características influyen en el mercerizado.



Celulosa	92 – 96%
Proteínas	1 – 2%
Ceras	0.3 – 1.14%
Pectinas	0.7 – 1.2%
Cenizas	0.7 – 1.6%

Tabla 3.1 Composición del algodón

- Longitud: uniformidad y % de fibras cortas
 - Fibra corta < 26 mm
 - Fibra mediana 26 - 29 mm

Fibra larga 30 - 38 mm

Fibra extra larga > 39 mm.

- Resistencia: Pressley
- Impurezas: trash, dust y materias extrañas
- Finura: micronaire
- Índice de madurez: incluye fibras muertas
- Convulsión de la fibra
- Color

Ventajas y desventajas:

- > mayor absorción de colorante
- > mayor resistencia
- > mayor brillo
- > mayor estabilidad dimensional
- ± tacto diferente
- < mayor velocidad de absorción
- < menor elongación
- < menor elasticidad

3.1.2. Soda cáustica

Es un sólido blanco, higroscópico (absorbe humedad del aire), que corroe la piel y se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. Generalmente se utiliza en forma sólida o en solución. El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria. Por ejemplo, es ampliamente utilizado en la fabricación de papel, en la industria del algodón, en la industria textil, en la fabricación de jabón y en la fabricación de muchos otros productos químicos.

Obtención

Se prepara por dos métodos distintos.

Tratando carbonato de sodio con cal apagada.



Se prepara por filtración de carbonato de calcio, precipitado; y el líquido que pasa se evapora hasta sequedad.

Electrólisis en celdas especiales de Salmuera.

Haciendo pasar una corriente eléctrica por una solución de cloruro de sodio el cloro se desprende en el ánodo; y el ión cloruro, Cl^- , pierde un electrón, oxidándose en consecuencia a cloro gaseoso. Si el electrodo es de carbón que no reacciona, éste se disuelve en el agua hasta formar una solución saturada y luego escapa en estado gaseoso. En el cátodo queda libre el hidrógeno y se forma la soda cáustica.

La presencia de 1% de sustancias pépticas y 4% de carbonato no alteran la elongación, la resistencia y el número de Bario, pero sí interfieren sustancialmente sobre el brillo y la afinidad de los colorantes, por ello es conveniente utilizar filtros, utilizar centrifugas y añadir secuestrantes (que resistan a la soda 30 °Bé).

3.1.3. Humectante

En el proceso de mercerización y caustificación para lograr una buena humectación del tejido es necesario utilizar un tenso activo que favorezca la penetración de las soluciones de soda cáustica.

Las características más importantes de estos productos son las siguientes:

- Elevado poder humectante: acelera la penetración de la solución de soda cáustica.

- Perfecta regularidad de impregnación e hinchamiento en la fase mercerizado.
- Estabilidad en el tiempo del efecto humectante, sin agotamiento del baño de mercerizado.
- Ausencia de espuma a cualquier concentración de soda cáustica.
- Completa resistencia química a la soda cáustica en soluciones concentradas hasta 34 °Bé (alrededor del 28%).
- Completa resistencia en caliente y consecuentemente posibilidad de concentrar las soluciones de soda cáustica diluida para su reutilización.
- Posibilidad de reutilización de las soluciones de soda cáustica en las operaciones de descruzado y tintura con colorantes sulfurosos, naftoles y cuba.

Las ventajas que se derivan del mercerizado al usar un buen humectante pueden resumirse como sigue:

- Mayor brillo, como consecuencia del estiraje más intenso.
- Tacto lleno y suave.
- Elevado encogimiento inicial y final.
- Aumento de la resistencia dinamométrica.
- La materia mercerizada posee un aspecto uniforme.
- Mejor absorción del colorante en las tinturas realizadas posteriormente.
- Rápida humectación, incluso en tejidos de contextura tupida y en hilados fuertemente retorcidos, lo que facilita la penetración uniforme de la lejía de mercerización.

3.1.4. Secuestrante

En los procesos de mercerización y caustificación se hace necesaria la utilización de un secuestrante – dispersante – anti incrustante, los cuales deben tener elevada estabilidad y compatibilidad con los productos químicos y colorantes.

3.1.5. Agua

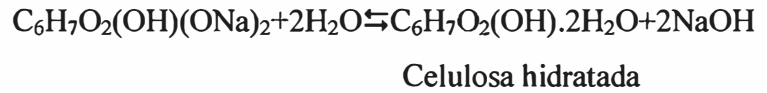
Uno de los principales problemas del agua es la dureza, por eso se requiere agua blanda. Por ello se hace necesario recurrir a las aguas subterráneas por razones de costo, pero las cuales arrastran grandes cantidades de contaminantes que las convierten en aguas duras y que, por consiguiente deberán ser sometidas a tratamientos antes de ser usadas. Para este fin al agua ya tratada se usará secuestrante, los cuales atrapan el calcio y magnesio.

3.1.6. Tela mercerizada

El brillo de la tela mercerizada es la característica principal, veamos los factores que influyen en el brillo (ver figura 3.1):

- Tipo de fibra (makó encoge hasta 20% y puede ser estirado 6% - indiano encoge 10% y puede ser estirado 3%).
- Longitud de fibra no influencia el brillo.
- Torsión del hilo síngulo y del retorcido (7/10).
- Mayor tensión = mayor brillo.
- Mayor densidad de soda = mayor brillo.
- Mercerizando 2 veces el brillo se incrementa muy poco.
- Afectado por la contaminación de la soda.

Posteriormente, mediante el enjuague se forma la celulosa II o celulosa hidratada, según reacción:



3.2.2. Proceso físico

La fibra presenta modificaciones en su estructura:

- 1.- Sin tensión: (caustificación) la fibra se encoge en sentido longitudinal hasta casi 30% pasando de una forma achatada a una forma elíptica con mejora en la estabilidad dimensional (figura 3.2).
- 2.- Con tensión: (mercerización) la fibra no se puede encoger, pierde sus convulsiones, desaparece el canal interno (lumen) y pasa a una forma cilíndrica con mejora en la estabilidad dimensional (figura 3.2).

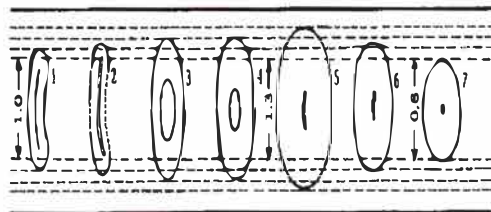
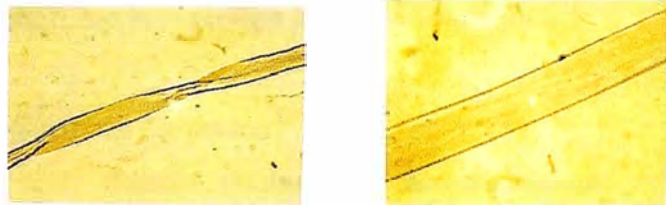
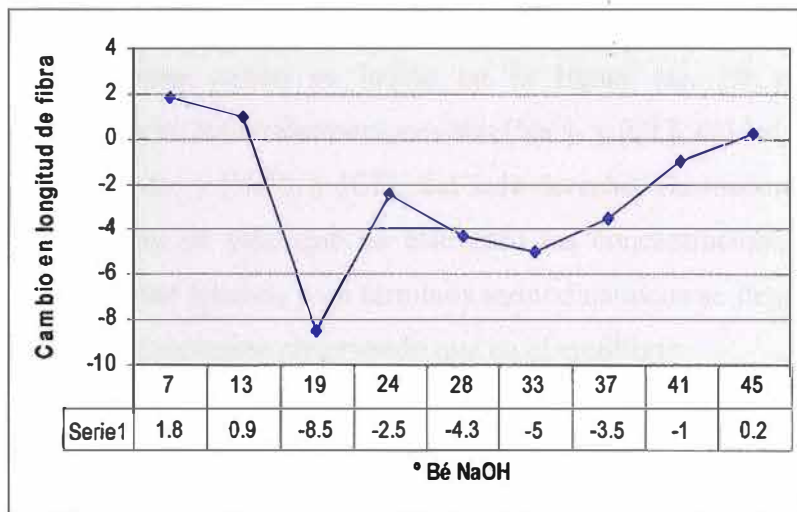


Figura 3.2 Modificación de estructura



- La mercerización disminuye o elimina las convulsiones de la fibra de algodón.
- En algodón maduro es más fácil eliminar las convulsiones.
- La torsión no ayuda a eliminar las convulsiones

Torsión v.p.p.	12.1	20.7	23	35.7	38.9	46
Deconvulsiones	69	58	53	41	35	30

- En tejido plano la superficie se merceriza mejor.

3.2.3. Proceso físico - químico

El aspecto físico – químico del mercerizado que es el hinchamiento de la fibra que se realiza de acuerdo con el denominado equilibrio Donnan, que son los equilibrios iónicos que se establecen entre dos soluciones separadas por una membrana. Surgen complicaciones cuando los iones son demasiados grandes para difundirse a través de la membrana, y entonces los iones difundibles alcanzan este tipo de equilibrio especial.

Considérese primero el equilibrio que se establece, cuando todos los iones pueden difundirse a través de la membrana. Supóngase que las soluciones de cloruro de

sodio, con volumen de 1 dm³ están separadas por la membrana, como se indica en la figura (a). En el equilibrio, las concentraciones son $[\text{Na}^+]_1$ y $[\text{Cl}^-]_1$ del lado izquierdo, y $[\text{Na}^+]_2$ y $[\text{Cl}^-]_2$ del lado derecho. De manera intuitiva, se sabe que en este caso las concentraciones deben ser iguales, y en términos termodinámicos se llega a esta conclusión observando que en el equilibrio

$$\Delta G = \Delta G_{\text{Na}^+} + \Delta G_{\text{Cl}^-} = 0 \quad (1)$$

donde los términos son las diferencias de energía de Gibbs a través de la membrana (o sea, ΔG es el cambio de energía de Gibbs al ir de izquierda a derecha). Las expresiones para los términos de energía de Gibbs iónica molar individuales son:

$$\Delta G_{\text{Na}^+} = RT \ln \frac{[\text{Na}^+]_2}{[\text{Na}^+]_1} \quad \text{y} \quad \Delta G_{\text{Cl}^-} = RT \ln \frac{[\text{Cl}^-]_2}{[\text{Cl}^-]_1} \quad (2)$$

Así,

$$RT \ln \frac{[\text{Na}^+]_2}{[\text{Na}^+]_1} + RT \ln \frac{[\text{Cl}^-]_2}{[\text{Cl}^-]_1} = 0 \quad (3)$$

De donde se deduce que

$$\frac{[\text{Na}^+]_2 [\text{Cl}^-]_2}{[\text{Na}^+]_1 [\text{Cl}^-]_1} = 1 \quad (4)$$

Como para la neutralidad eléctrica $[\text{Na}^+]_1 = [\text{Cl}^-]_1$

y $[\text{Na}^+]_2 = [\text{Cl}^-]_2$

el resultado es

$$[\text{Na}^+]_1 = [\text{Na}^+]_2 = [\text{Cl}^-]_1 = [\text{Cl}^-]_2 \quad (5)$$

En otras palabras, en el equilibrio se tienen concentraciones iguales de electrolito en ambos lados de la membrana.

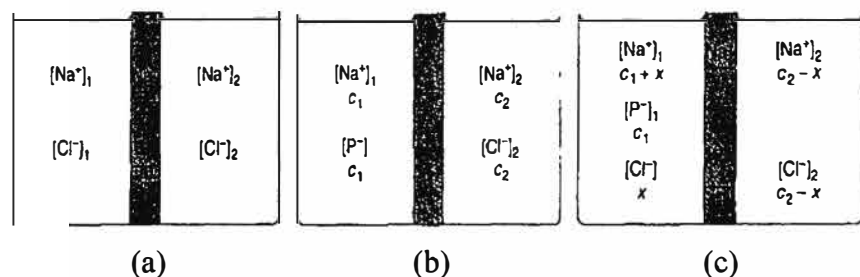
Este caso un tanto trivial es útil como introducción al equilibrio Donnan, ya que la ecuación (1) todavía se cumple aunque el sistema contenga un ion no difundible además de los iones sodio y cloruro. Por ejemplo, supóngase que inicialmente se tiene el caso que se representa en la figura (b). Del lado izquierdo, hay iones sodio y aniones no difundibles P^- ; del lado derecho hay iones sodio y cloruro. Como no hay iones cloruro del lado izquierdo ocurrirá difusión espontánea de iones cloruro de derecha a izquierda. Como debe conservarse la neutralidad eléctrica a ambos lados de la membrana, un número igual de iones sodio también se difundirá de derecha a izquierda. La figura (c) muestra el caso en el equilibrio; $x \text{ mol dm}^{-3}$ de $[Na^+]$ y $[Cl^-]$ se han difundido de derecha a izquierda; las concentraciones iniciales a ambos lados son c_1 y c_2

Al aplicar la ecuación (1) se obtiene

$$(c_2 - x)^2 = (c_1 + x)x \quad (6)$$

Y por lo tanto

$$x = \frac{c_2^2}{c_1 + 2c_2} \quad (7)$$



- Iones cloro y sodio separados por una membrana.
- Na^+P^- y Na^+Cl^- separados por una membrana; condiciones iniciales.
- Condiciones finales del equilibrio Donnan, que surge de (b)

3.2.4. Procedimiento del proceso

Debemos indicar que aquí tenemos tres etapas, dos de las cuales son previas al mercerizado del tejido punto propiamente dicho y de las cuales dependen el buen funcionamiento del proceso. A continuación veamos el diagrama de flujo del textil (tejido punto) para tener una mejor visualización donde se desarrolla el tema. Ver figura 3.3.

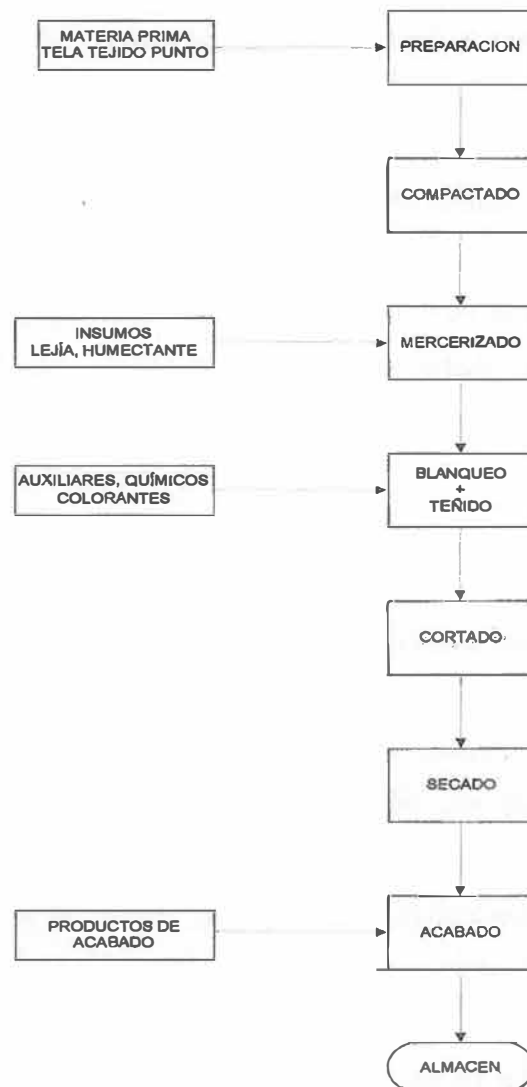


Figura 3.3. Diagrama de flujo de Tela de Punto Mercerizada

Preparación del textil

La tela tejida de punto es preparada con 24 horas de anticipación para ello sacan el textil de su ubicación de los andamios en el almacén de preparado de crudo, es revisado si es conforme el tipo de artículo y las unidades según la ficha técnica de la partida, luego es plegado (a medida que se pliega se revisan el textil) en lotes de 200 kg con la cara hacia fuera, bien alineado, bien remallado y sin huecos.

Culminado el preparado el textil pasa a la unidad de compactado para planchar la tela (dejar libre arrugas y bien alineado) con ancho natural y poca presión para no marcar los bordes de la tela; aquí se vuelve a revisar el textil a fin de que no presente ninguna falla (huecos o mal remalle) que pueda perjudicar el proceso de mercerizado.

El textil ya compactado es marcado (con tinta especial para textil) en un costado para facilitar el cortado de la tela cuando culmine el proceso de teñido. Aquí la tela está lista para entrar al proceso de mercerizado.

Preparación de soda cáustica

En el capítulo de introducción al problema habíamos visto los problemas que se presentaban para la preparación y traslado de la soda cáustica hasta la unidad de mercerizado, motivo por el cual se propone utilizar soda cáustica 50 °Bé, con ello evitaremos las demoras en preparado y traslado, asimismo disminuye la frecuencia de reponer soda en el tanque auxiliar, como ya se ha indicado anteriormente conforme avanza el proceso la concentración de lejía cae aproximadamente hasta 26 °Bé en 30 minutos y cuando se ha consumido 80 Kg de lejía. Realizaremos el cálculo de concentración mínima de lejía de refuerzo que se

debe inyectar para mantener la concentración de soda cáustica en el baño de mercerizado:

Artículo: Jersey 50/2

$V = \text{velocidad del textil} = 8 \text{ m/min.}$

$R = \text{rendimiento} = 3 \text{ m/Kg.}$

Pick up = 100%

$\text{Consumo Kg. lejía / hr} = V \cdot 100\% / R \cdot 60 \text{ min./hr} = 160$

De la tabla de concentración de soda cáustica:

Inicial: 28 °Bé

200 lts 248.20 Kg. 54.85 Kg. NaOH 193.35 Kg. H₂O

Después de 30 min.: 26 °Bé

138 lts 168.36 Kg. 34.00 Kg. NaOH 119.70 Kg. H₂O

Lejía de refuerzo para volver a las condiciones iniciales

62 lts 79.84 Kg. 20.84 Kg. NaOH 59.00 Kg. H₂O

Si 20.84 Kg. NaOH en 79.84 Kg. lejía

Entonces 26.1 Kg. NaOH en 100.00 Kg. lejía

De la tabla de concentración de soda cáustica: eso corresponde a 32 °Bé.

En planta se puede observar que para los diferentes artículos de tejido punto cambia la concentración de la lejía de refuerzo.

Mercerizado

El tanque de mercerizado con soda cáustica 28 °Bé, humectante y secuestrante a la temperatura de 15 °C comienza a ingresar el textil crudo a la unidad de mercerizado, aquí se inicia la etapa de impregnación, el textil avanza a una velocidad de 8 m/min y una presión en el foulard de 2 bar para obtener un pick up de 100 %; la segunda etapa es de reacción que pasa por una serie de polines

por un tiempo de 60 segundos (para algunos textiles puede llegar hasta 90 segundos), en la última etapa se procede a los enjuagues calientes en las dos torres de lavado, de esta manera termina el proceso de mercerizado. El textil mercerizado plegado es inmediatamente llevado a las máquinas discontinuas para su proceso de lavado, blanqueado o descrudado, teñido y jabonado; las etapas posteriores son: cortado del textil de tubular en abierto, secado y acabado en rama.

Por su parte la soda cáustica 50 °Bé pasa del tanque auxiliar hacia el tanque de mezclado, aquí se mezcla con la soda cáustica recirculada del tanque de mercerizado y vuelve a ingresar al tanque de mercerizado previa agitación.

Conforme avanza el proceso con el ingreso del textil baja el nivel de soda cáustica del tanque de mercerizado hasta un mínimo ya establecido, cuando llega a este punto comienza a inyectar agua blanda a fin de mantener el nivel de baño constante.

El ingreso de humectante y secuestrante al tanque de mercerizado se va realizando de manera constante y al ritmo de la velocidad del textil en flujos definidos, no obstante cabe señalar que estos auxiliares no se pueden agregar de manera directa sobre la soda concentrada pues solo resisten hasta los 32 ° Bé.

La soda cáustica pasa a través de un chiller que lo enfría hasta 15 °C donde obtiene el textil su brillo deseado, luego la soda vuelve al tanque de mercerizado y así sucesivamente absorbiendo el calor producto de la reacción exotérmica que se produce en el mercerizado y en la disolución de la soda.

3.3. ESTRATEGIAS DE CONTROL A UTILIZAR EN PLANTA

3.3.1. Estrategia de control

Se propone para la unidad de mercerizado el sistema de control PID, estas tres acciones combinadas actúan sobre el elemento final de control en forma señalada en la gráfico 3.1.

Las características esenciales se pueden resumir así:

1. La acción proporcional cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la válvula con respecto al punto de consigna.
2. La acción integral mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de consigna.
3. La acción derivativa corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

Considerando estos puntos, la selección del sistema de control es usualmente un compromiso entre la calidad del control que se desea y el coste del sistema de control. Es decir, debe ser suficiente para satisfacer la tolerancia requerida en el proceso, pero no debe incluir excesivos refinamientos que lo encarezcan. Sin embargo, económicamente hay muy poca diferencia entre un controlador PI y uno PID, de modo que en el caso de estudiar procesos y sus perturbaciones que no sean bien conocidos puede ser mas barato adquirir el controlador PID para tener así un potencial de mayor flexibilidad en el control del proceso. No obstante, los instrumentos actuales de tipo modular admiten fácilmente la adición de una o mas acciones. Los controladores digitales incorporan las tres acciones, de modo que la elección de las mismas es técnica, para que el proceso este bien controlado, y no económica.

En la tabla 3.2 se indica una guía general para la selección de un sistema de control, si bien hay que señalar que solo sirve de orientación general y debe consultarse únicamente como guía de aproximación al control idóneo.

3.3.2. Estrategia en preparación

La preparación de la soda cáustica 28 °Bé ya no se realizará de la forma en que se venía realizando en el área de preparación de soda, sino se reemplazará por soda cáustica al 50 °Bé (se evitara tener que preparar, transportar y traspasar), para lo cual se comprará en tanque de 1000 Kg. y llevado directamente al área de mercerizado para usarlo a dicha concentración, pero no directamente al tanque de mercerizado sino a un tanque auxiliar donde previamente se mezclará con la lejía de retorno para alcanzar la concentración deseada.

Los productos auxiliares como humectantes y secuestrantes se adicionaran directamente al baño de mercerizado mediante dosificación con bomba peristáltica (los productos no resisten soda cáustica mayor a 32 °Bé), para ello calcularemos la adición de producto. Para la dosificación de productos auxiliares lo haremos de manera directa es decir V, G, A y K son constantes, entonces realizando los cálculos tendremos los flujos a dosificar.

Adición de Humectante y/o Secuestrante = $\frac{V \cdot G \cdot A \cdot K}{10000}$ =
ml/min

10000

V = velocidad de avance de la tela en m/min

G = Peso seco de la tela en gr/m de avance

A = Absorción de baño de mercerizado en %, es decir contenido residual del liquido de la tela exprimido a la salida del foulard.

K = concentración del humectante o secuestrante en la lejía de mercerizado (% en peso calculado sobre la lejía)

V = 8 m/min

G = 400gr/m

A = 100 %

K = 1.2 % (humectante) 0.6 % (secuestrante)

Humectante (ml/min) = 40 ml / min

Secuestrante (ml/min) = 20 ml / min

3.3.3. Estrategia de control automático en el proceso de mercerizado

En el proceso de mercerizado utilizaremos la estrategia de doble retroalimentación una para mantener la densidad de la soda cáustica en el baño de mercerizado y la otra para mantener el nivel mínimo que garantice que la tela que circula por el baño este totalmente cubierto, conforme el proceso avanza se debe inyectar más soda cáustica 28 °Bé (siempre y cuando la concentración en el baño no cambie), como ya hemos mencionado ahora trabajaremos con soda cáustica 50 °Bé y para ello realizaremos los siguientes lazos de control en la unidad de mercerizado (ver figuras 3.4 y 3.5):

El primer lazo de control será con respecto a la concentración de soda cáustica en el baño de mercerizado que se ve alterado debido a la humedad presente en el textil, así como la formación de sosa, esta puede variar el grado de absorción de la soda cáustica o se puede producir sosa en el baño de mercerizado que hacen que disminuya la concentración de soda cáustica; la variable controlada es precisamente la concentración de soda cáustica que se ve afectada al pasar el textil por el tanque de mercerizado, para medir dicha concentración necesitamos tener un sensor de densidad a la salida del tanque de mercerizado, la

lectura que realice el sensor será comparado con el set point de 28 °Bé, si la lectura es menor a dicho valor el controlador enviara la señal para actuar sobre la válvula de control del tanque de soda cáustica 50 °Bé (variable manipulada) que ira dosificando hasta llegar a los 28 °Bé y así lo ira realizando a lo largo de todo el proceso. Ver figuras 3.6 y 3.7.



Figura 3.4 Unidad de Mercerizado de Tela Punto



Figura 3.5 Tanque Auxiliar (izq.) y Tanque Preparación (der.)

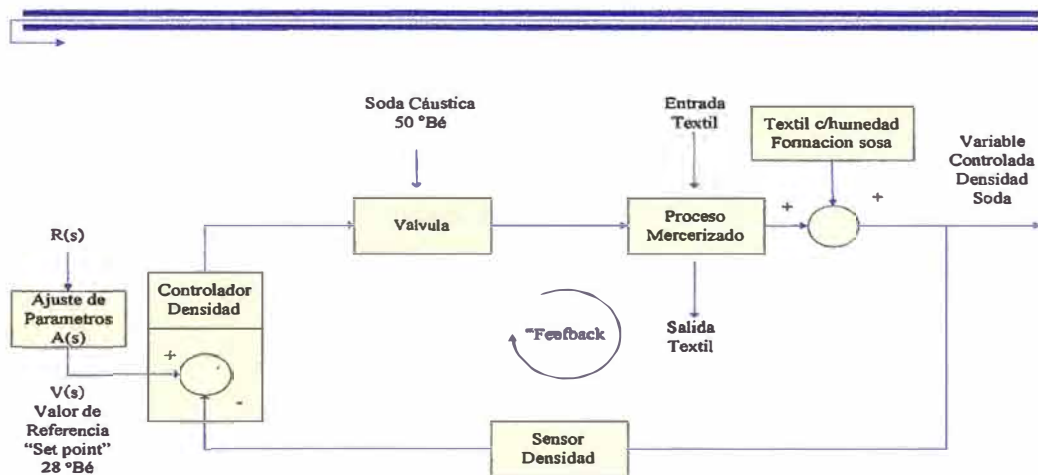


Figura 3.6: Diagrama de bloques de Control de Concentración de Soda Cáustica

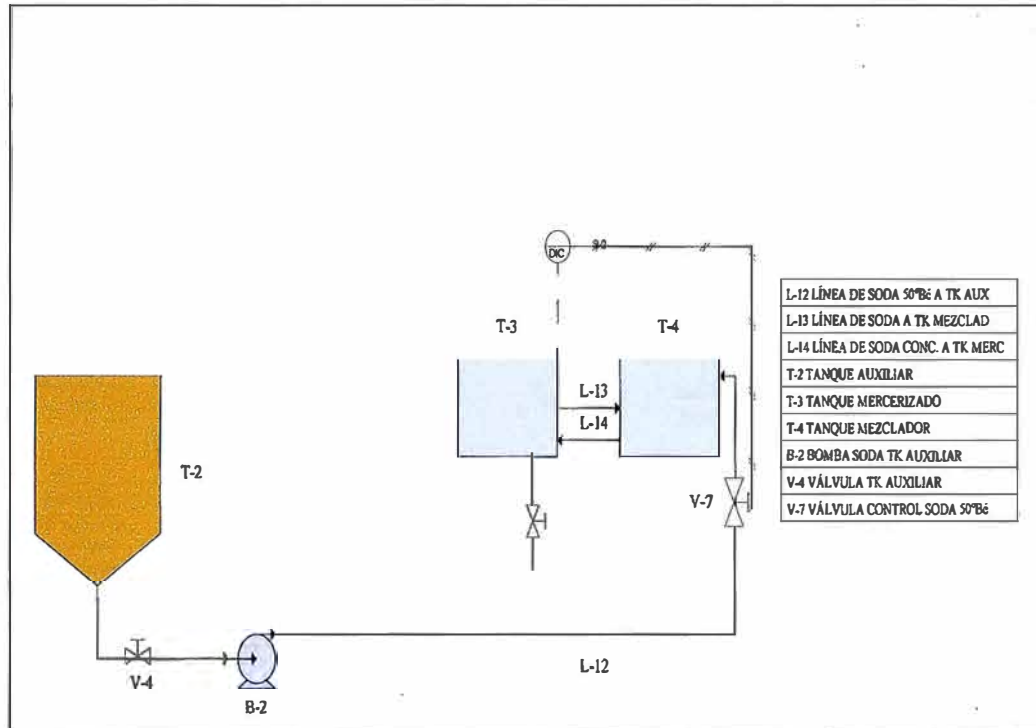


Figura 3.7 Control de Densidad de Soda Cáustica

El segundo lazo de control será respecto al nivel de baño de soda cáustica (variable controlada) en el tanque de mercerizado T-3, para ello haremos uso de un sensor de nivel todo o nada, este detectara el nivel mínimo fijado en el tanque de mercerizado, dicho nivel garantiza que el textil siempre este cubierto de soda cáustica; conforme avanza el proceso la lejía se impregna en el textil y en consecuencia baja el nivel de baño de soda cáustica, este sensor enviara la señal al controlador el cual procesara la lectura y hará actuar la válvula de control del agua blanda a fin de inyectar el fluido y restablecer el nivel mínimo en el tanque de mercerizado. Ver figura 3.8 y 3.9

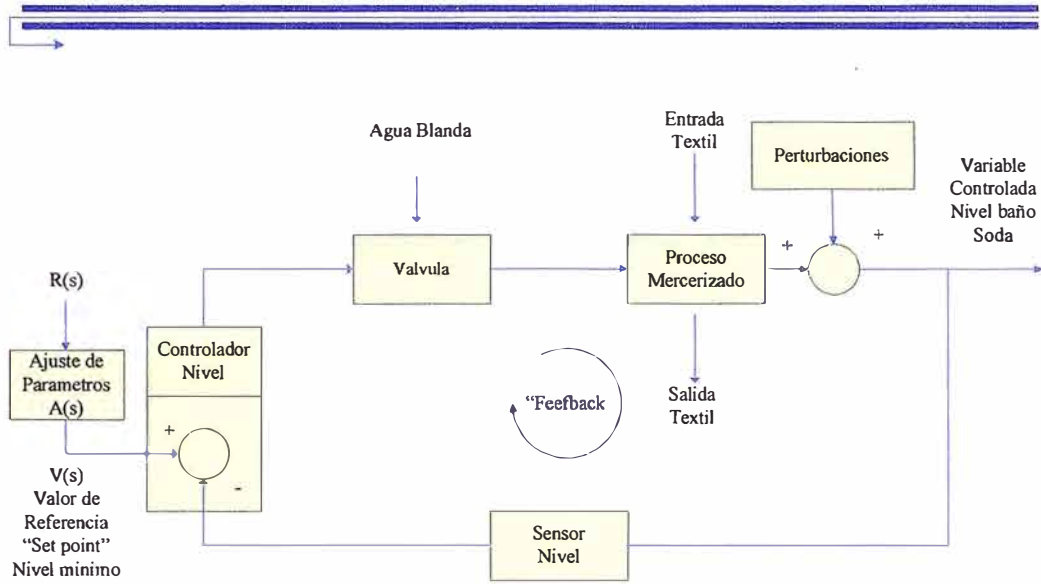


Figura 3.8: Diagrama de bloques de Control de Nivel de Baño de Soda Cáustica

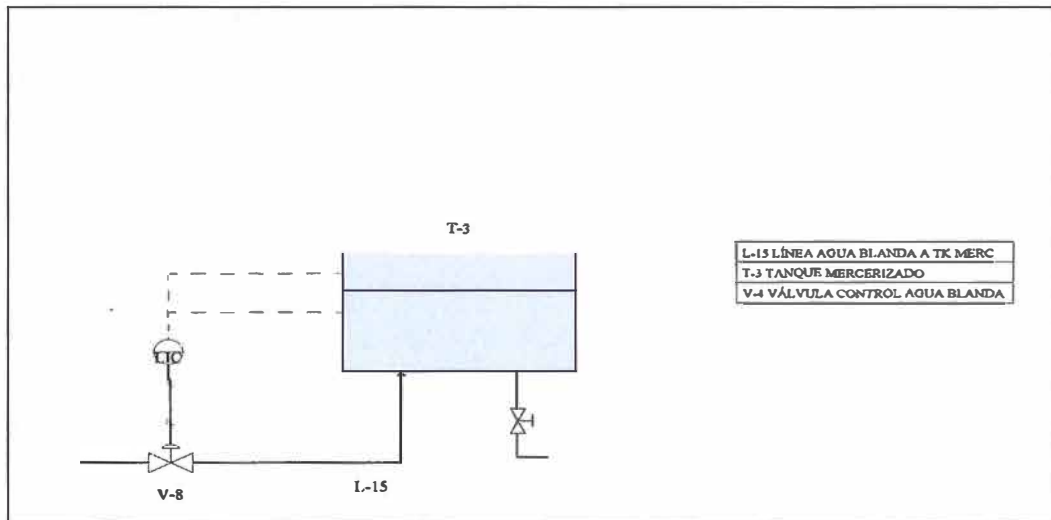


Figura 3.9 Control de Nivel de Soda Cáustica en Tanque de Mercerizado

Mientras tanto para el control de temperatura también será por retroalimentación fijando la temperatura de 15 °C como el valor deseado, para alcanzar esta temperatura haremos uso de un chiller, el sensor de temperatura recoge el dato a la salida del chiller y enviara la señal al controlador que lo comparara con el set point a fin de exceder o apagar el chiller, debemos recordar

que la reacción de la lejía con el textil es exotérmica, así como el de la disolución de la soda cáustica 50 °Bé. Ver figura 3.10 y 3.11

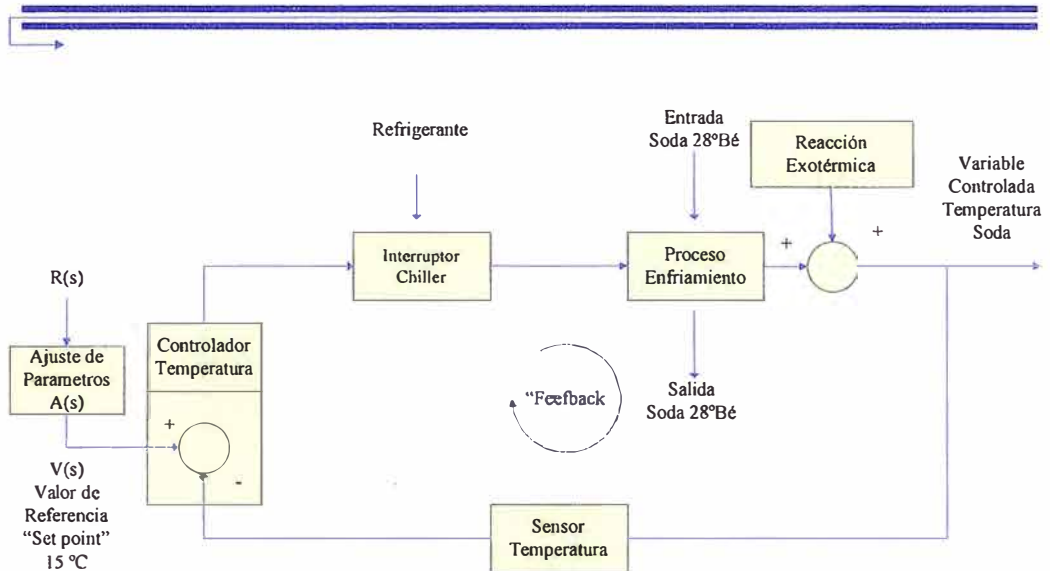


Figura 3.10: Diagrama de bloques de Control de Temperatura de Soda Cáustica

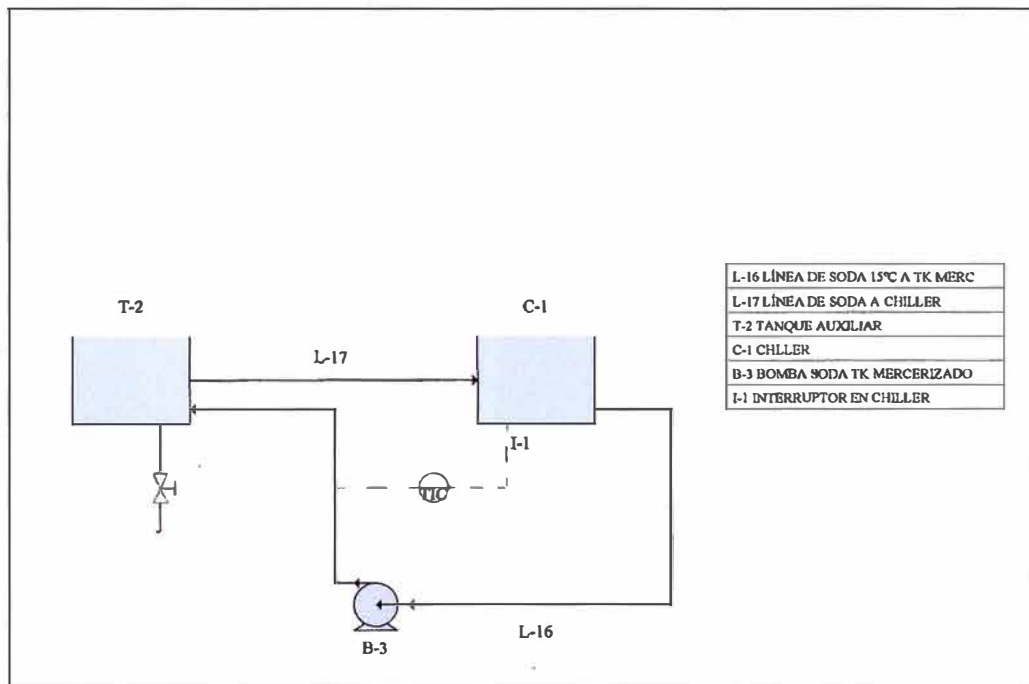
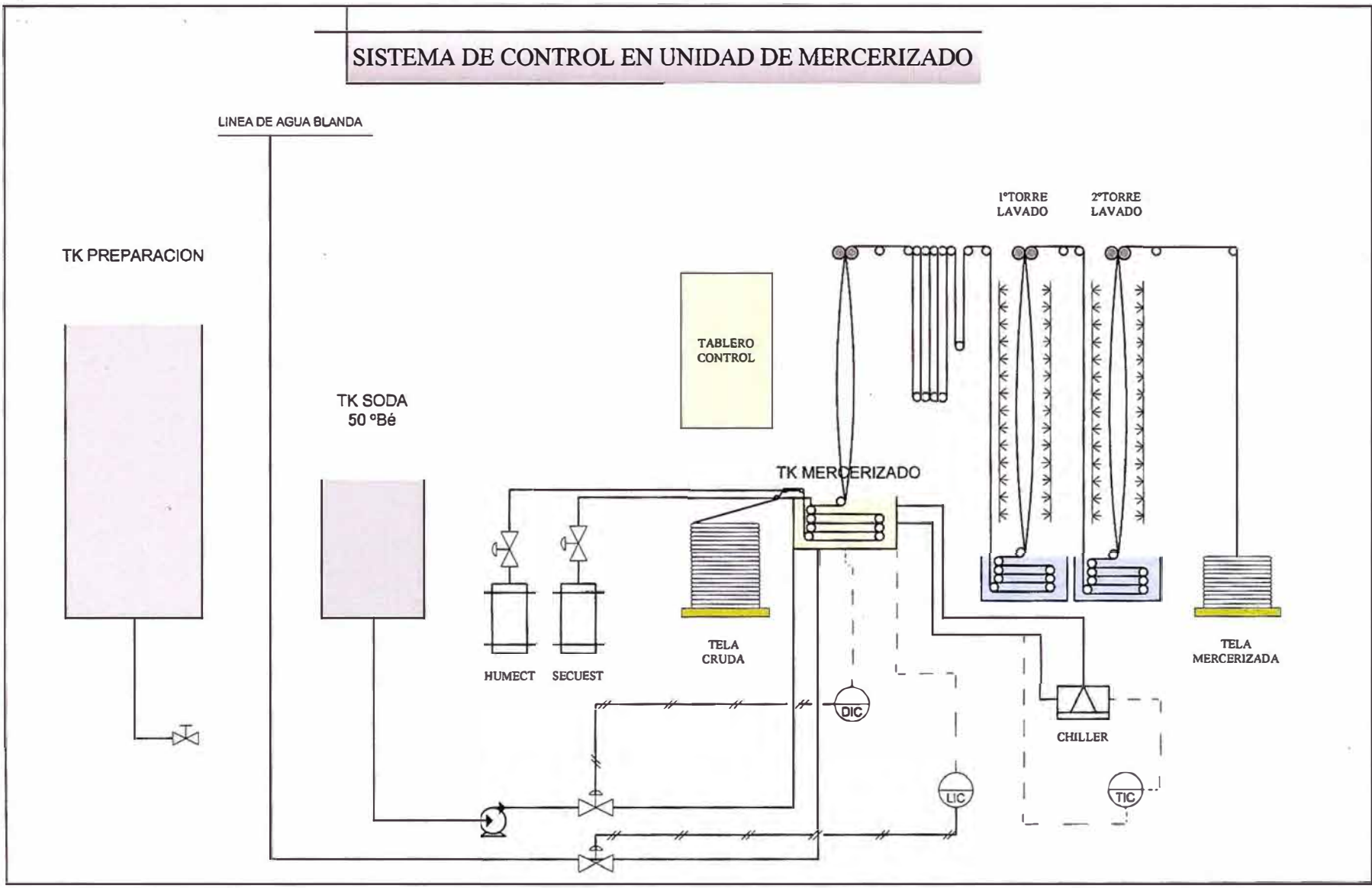


Figura 3.11 Control de Temperatura de Soda Cáustica

SISTEMA DE CONTROL EN UNIDAD DE MERCERIZADO



3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL UTILIZADO EN LA AUTOMATIZACIÓN

3.4.1. Sensores de temperatura

Las termorresistencias más empleadas son las de platino debido a su resistencia a la corrosión a su linealidad en un rango muy amplio de temperaturas. El rango de utilización de las resistencias de platino es de -270 a 650 °C. Para temperaturas más elevadas (hasta 1.100 °C) se suelen emplear termorresistencias de tungsteno. El hilo de resistencia se arrolla para alcanzar una longitud tal que la resistencia sea elevada, de 10 Ω a 25 k Ω (la resistencia a 0 °C de una sonda de platino Pt100 es 100 Ω). Gracias a esta elevada resistencia se consigue que las resistencias de conexión con el resto del circuito sean comparativamente despreciables. Una segunda ventaja es que al ser el voltaje de salida elevado, las f.e.m. inducidas por el efecto termoeléctrico son despreciables.

La termorresistencia se protege de un ambiente corrosivo o se aísla de un medio conductor, encapsulándola en una vaina metálica de Inconel o acero inoxidable (Figura 3.12) con lo que adquiere un aspecto externo muy parecido al de un termopar.

Para convertir la variación de resistencia en una señal eléctrica se utiliza el puente de Wheatstone en montaje de dos, tres y cuatro hilos según la precisión creciente requerida para el instrumento. El montaje más empleado en los procesos industriales es el de tres hilos.

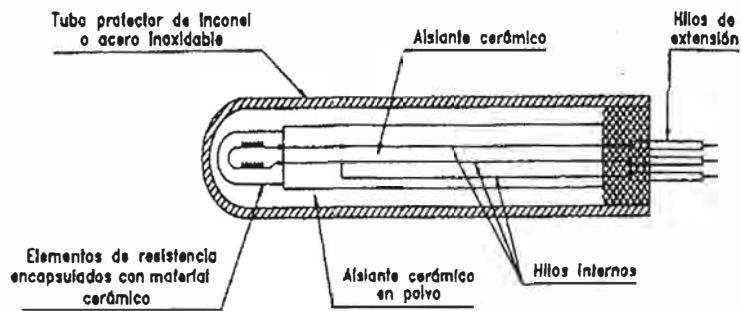


Figura 3.12 Sensor de Temperatura

Selección del sensor de temperatura

A la hora de elegir un sensor de temperatura para una aplicación determinada hay que tener en cuenta por un lado las características específicas de la aplicación y por otro las características propias del sensor. En la tabla 3.3 se resumen las características y las consideraciones que suelen tenerse en cuenta en el proceso de selección de un sensor de temperatura.

Rango de temperatura

Temperaturas entre $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede ser medida con un termopar o con una termorresistencia. Este rango de temperaturas abarca prácticamente todas las aplicaciones posibles concernientes a la industria química y de procesos. Los sensores citados también son utilizables fuera de este rango, si bien con menor precisión y generalmente con un coste superior.

Precisión

Las termoresistencias de platino, por ejemplo las Pt100, son los sensores comerciales intrínsecamente más precisos ($\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). A efectos de comparar la precisión del sistema completo, considérese la medición de una temperatura de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una termo resistencia de platino, con un termopar tipo J o K

y con un termistor. En los tres casos el sistema incluye un transmisor electrónico con salida 4-20 mA que tiene una precisión típica de $\pm 0,1\%$ del alcance.

Velocidad de respuesta

La velocidad de respuesta de un sensor de temperatura se suele evaluar en términos de constante de tiempo (tiempo necesario para alcanzar el 63,2% de la respuesta final ante un cambio brusco en la temperatura). Cuando se protegen con una carcasa, la constante de tiempo sube hasta 0,2 ó 2 s dependiendo de cómo sea específicamente la protección. Una resistencia de platino de 114 de pulgada presenta una constante de tiempo entre 5 y 6 s en un baño de agua agitado. El tiempo de respuesta de termopares y termo resistencias se multiplica por un factor comprendido entre 3 y 10 cuando se protegen con una vaina robusta.

Costo

En numerosas aplicaciones industriales la selección del sensor de temperatura suele limitarse a escoger entre un termopar y una termorresistencia. Aunque los termopares son intrínsecamente más baratos, cuando se compara el precio total del sistema de medida las diferencias ya no son muy apreciables. Los pirómetros de radiación sí suelen tener un precio muy superior y por ello su uso se restringe, como ya se ha dicho, a casos en los que el contacto con el objeto no es posible o la temperatura sea demasiado elevada para un termopar.

3.4.2. Sensores de nivel

La medida del nivel alcanzado por un líquido o por un sólido en un tanque o en un depósito es una de las tareas más comunes en la industria. El grado de complejidad del problema depende tanto

de las propiedades del líquido (viscosidad, corrosividad, sólidos en suspensión) o del sólido (fluidez, ángulo de talud), como de las condiciones de servicio (tanque abierto a la atmósfera o depósito cerrado a presión, temperatura de operación, agitación). Para hacer frente a esta variedad de situaciones se han desarrollado numerosos instrumentos de nivel basados en fenómenos o principios físicos diferentes. La selección del tipo más adecuado para una aplicación concreta deberá llevarse a cabo teniendo en cuenta numerosos factores entre los que cabe citar: la presión y la temperatura de servicio, el sistema de agitación, la presencia de borboteadores y espumas, la corrosividad del fluido y la fluidez en el caso de partículas sólidas.

El nivel se puede medir por métodos directos o indirectos. Los métodos directos miden el desplazamiento de la superficie del líquido o del sólido mediante sistemas ópticos, ultrasónicos, flotadores, electrodos u otros.

Los métodos indirectos miden otras variables que tiene relación con el nivel, tales como la presión en el fondo del tanque, la fuerza que se ejerce sobre una boya cuyo grado de inmersión depende del nivel, la atenuación de la radiación, o el cambio de capacidad o de conductividad eléctrica entre dos electrodos que se produce cuando varía la longitud sumergida en el líquido.

Lecturas de nivel todo-nada

Este tipo de lecturas permite determinar si el nivel de un producto supera una determinada posición o está por debajo de ella. Proporciona una información digital del tipo todo-nada y no el valor de la variable.

En el caso de líquidos con una conductividad eléctrica mucho mayor que la del aire, sólo hay que medir la resistencia entre dos electrodos, uno situado en la parte inferior del tanque y el otro a

una distancia determinada del fondo, tal como se indica en la figura 3.13. Dependiendo de que el nivel de líquido cubra o no a este segundo electrodo, la resistencia del circuito será baja o alta respectivamente. El cambio brusco de resistencia se puede detectar fácilmente con circuitos eléctricos apropiados.

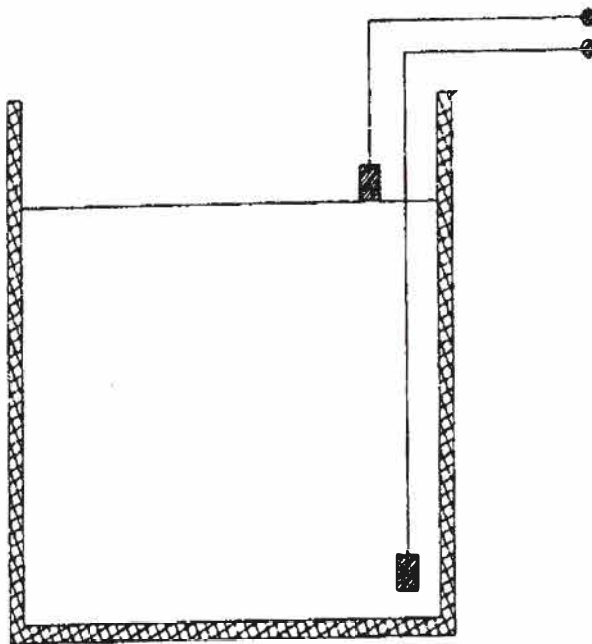


Figura 3.13 Sonda de nivel en tanques

3.4.3. Sensores de densidad

Medidores inerciales

Los medidores de inercia se basan en aprovechar la variación de la masa inercial de una masa inmersa en el fluido al entrar la misma en vibración dentro de una cámara de volumen constante. Las variaciones de densidad del fluido contribuyen a una carga inercial de la masa, variando su masa efectiva. Como la frecuencia natural de un elemento depende de su masa efectiva, se sigue que midiendo la frecuencia natural o resonancia de la

masa inmersa, se tendrá una medida correlacionada de la densidad del fluido. La temperatura medida del fluido debe compensarse.

La fórmula de cálculo correspondiente es:

$$p_0 = K_0 + K_1 * T + K_2 * T^2$$

en la que:

p_0 = Lectura de densidad del aparato

K_0, K_1, K_2 = Constantes de calibración de cada aparato

T = Período natural (inverso de la frecuencia natural)

El circuito de medida incorpora un cristal piezoeléctrico para detectar la frecuencia natural en el estado de resonancia de la masa, y ésta se mantiene continuamente en dicho estado gracias a un circuito de control.

El sistema sirve tanto para la medición de densidad en líquidos como en gases.

Existen varios tipos de medidores inerciales:

El método de tubo en U.- Consiste en un tubo que tiene forma de U que incorpora una armadura rígida situada dentro del campo de una bobina excitadora alimentada por una corriente pulsante. La vibración que el tubo experimenta es función de la masa del fluido contenida en el tubo y, por lo tanto de su densidad. Ver figura 3.14.

La excitación electromagnética correspondiente hace que el tubo vibre a su frecuencia natural:

$$f = 2 * \left[\frac{C}{M_0 + V_0 * \rho} \right]^{1/2}$$

en la que:

f = Frecuencia de la vibración

M_0 = Masa del tubo

V_0 = Volumen en vibración

C = Constante de elasticidad

p = Densidad a medir

La medida es compensada según la temperatura real del fluido a su paso a través del tubo.

La vibración induce una corriente alterna en una bobina receptora y esta corriente es convertida a una señal de corriente continua y enviada a un controlador o registrador.

La precisión de medida del instrumento alcanza $\pm 0.0001 \text{ g/cm}^3$ y puede trabajar a unas presiones y temperaturas máximas de 50 kg/cm^2 y $150 \text{ }^\circ\text{C}$ con fluidos viscosos y corrosivos gracias al material del tubo en U. algunos fluidos tienen tendencias a recubrir el tubo a pesar de la vibración a que está sometido y obligan a parar el proceso para limpiar el tubo.

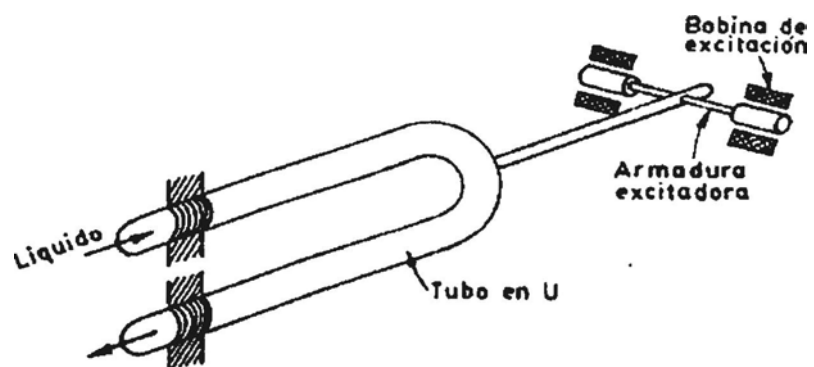


Figura 3.14 Medidor de densidad

3.4.4. Bomba Peristáltica

Las bombas peristálticas, que ofrecen el bombeo contaminación libre y el mantenimiento relativamente bajo, están aumentando de renombre. Sin embargo, al diseñar o comprando sistemas de bomba peristálticos, muchos ingenieros pasan por alto una tubería componente-peristáltica importante de la bomba.



La tubería es una pieza esencial de una bomba peristáltica; sin embargo, los usuarios finales demasiado a menudo unknowingly seleccionan una formulación de la tubería que sea inadecuada para sus usos. Algunos usuarios finales incluso substituyen la tubería de uso general de la transferencia para la tubería peristáltica de la bomba, a menudo con resultados desastrosos. Con tan muchas diversas opciones disponibles, la selección de la tubería puede ser difícil.

Compatibilidad química.

El material de la tubería debe ser compatible con el líquido bombeado proporcionar buen bombeo funcionamiento, así como seguridad. Con tan mucha tubería los materiales disponibles como muchos como 15 para algunos tipos de usuarios peristálticos de la bomba pueden encontrar una formulación conveniente para casi cualquier producto químico. Muchos surtidores de la tubería proporcionan cartas químicas de la compatibilidad. Sin embargo, es importante que los ingenieros

utilicen una carta diseñada específicamente para la tubería de la bomba en vez de los tubos de una cubierta de la carta previstos para el uso general. La tubería que consigue un grado aceptable para el contacto general con un producto químico dado no pudo soportar la exposición al mismo producto químico cuando estaba sujeta a las tensiones físicas del bombeo peristáltico. Por esta razón, los usuarios finales deben asegurar los grados de la compatibilidad enumerados están para la tubería de la bomba en vez de tubería de uso general. La falta de hacer tan podría dar lugar a la falta y a la salida del tubo, que podrían estropear la bomba o crear una situación peligrosa.

Al usar cartas químicas de la compatibilidad como guía, los usuarios finales deben comprobar cada componente de la solución, no apenas el ingrediente principal, contra el material que se utilizará. Incluso los niveles del rastro de algunos ácidos o solventes pueden ser bastantes para destruir la tubería de la bomba cuando la tubería se expone a los materiales sobre horas o días. Es también importante recordar que la resistencia química disminuye mientras que la temperatura aumenta. Los productos químicos que no tienen ningún efecto en la tubería en la temperatura ambiente podrían atacar la tubería en las temperaturas elevadas. La carta química de la compatibilidad debe indicar qué condiciones, particularmente temperatura, fueron utilizadas para determinar compatibilidad. Si un producto químico no se enumera dentro de la carta de la compatibilidad, o si las condiciones de funcionamiento de una planta son perceptiblemente diferentes de éstas usadas para determinar los grados de producto - resistencia, una prueba de la inmersión puede proporcionar una información más útil. Este método puede ayudar a determinar compatibilidad química cuando existe ninguna otra información de incompatibilidad.

Costo

El coste es un factor en casi cada proyecto. Sin embargo; como deben hacer con cualquier otro componente, los usuarios finales deben evaluar los costos operacionales totales para cualesquiera formulaciones potenciales de la tubería. Por ejemplo, un material de la tubería eso cuesta \$2.00 por pie y las necesidades de ser substituido cada 500 horas son más rentables que una formulación eso cuesta \$1.00 por pie pero requiere el reemplazo cada 100 horas, ver tabla 3.4. Tubería de mala calidad que las rupturas pueden perder repentinamente los líquidos valiosos que son bombeados o causar daño extenso a la bomba, requiriendo tiempo muerto costoso y dando por resultado reparaciones extensas o aún terminar el reemplazo de la bomba. Por lo tanto, la menos tubería costosa no es siempre la opción más económica. Con las opciones innumerables de la tubería de la bomba disponibles, encontrar la tubería ideal para un uso pudo parecerse desalentador al principio. Sin embargo, cuidadosamente identificando los requisitos del sistema, usando los datos técnicos de la tubería disponible y trabajando con un fabricante o un surtidor de la tubería con conocimiento y experiencia específicos del uso, los usuarios finales pueden identificar la mejor tubería para sus sistemas de bomba.

Tubería	Precio	Tiempo de vida útil	Costo	Rentabilidad
A	2.00 \$/pie	500 hrs	0.004 \$/pie-hr	Mayor
B	1.00 \$/pie	100 hrs	0.010 \$/pie-hr	Menor

Tabla 3.4 Costo de tubería

3.4.5. Válvulas

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. En la figura 3.15 puede verse una válvula de control típica. Se compone básicamente del cuerpo y del servomotor.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

Tipos de válvulas

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador.

Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican como se especifica a continuación.

Válvula de globo

Puede verse en las figuras 3.15 a, b y c siendo de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplean cuando la

presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

Como dato orientativo puede señalarse que según la norma ANSI B 16.1041976, las fugas admisibles son de 0,1 % del caudal máximo en la válvula de simple asiento y de 0,5 % en la válvula de doble asiento. Asimismo, las válvulas con obturador dotado de anillo de teflón para cierre hermético admiten un caudal de fuga de 1 a 40 burbujas de aire o NZ por minuto.

Válvula en ángulo

Esta válvula representada en la figura 3.15 d, permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando ésta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan (flashing), para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

Válvula de tres vías

Este tipo de válvula se emplea generalmente para mezclar fluidos - válvulas mezcladoras (fig. 3.15 e) o bien para derivar de un flujo de entrada dos de salida-válvulas divisoras (fig. 3.15 f).

Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

Válvula de jaula

Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula (fig. 3.15 g). Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque éste puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de teflón que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

Válvula de compuerta

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total (fig. 3.15 h).

Válvula en Y

En la figura 3.15 i puede verse su forma. Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de

control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de auto drenaje cuando está instalada inclinada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.

Válvula de cuerpo partido

Esta válvula (fig. 3.15 1) es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionado el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

Válvula Saunders

En la válvula Saunders (fig. 3.15 k), el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido.

La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o de plástico para trabajar con fluidos agresivos.

Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión.

Válvula de compresión

Esta válvula funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo, un tubo de goma. Igual que las válvulas de diafragma se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican

fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión (ver figura 3.15 l).

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento circular se clasifican como se detalla a continuación.

Válvula de obturador excéntrico rotativo

Consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que está unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles (fig. 3.15 m). El eje de giro sale al exterior del cuerpo y es accionado por el vástago de un servomotor. El par de éste es reducido gracias al movimiento excéntrico de la cara esférica del obturador.

La válvula puede tener un cierre estanco mediante aros de teflón dispuestos en el asiento y se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas mariposa y a las de bola y por su elevada pérdida de carga admisible.

Válvula de obturador cilíndrico excéntrico

Esta válvula (fig. 3.15 n) tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula es de bajo coste y tiene una capacidad relativamente alta. Es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o conteniendo sólidos en suspensión.

Válvula de mariposa

El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular (fig. 3.15 o). La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma

encastrado en el cuerpo. Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está totalmente abierta (en control todo-nada se consideran 90° y en control continuo 60° , a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es bastante inestable), siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la selección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada.

Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

Válvula de bola

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre) (fig. 3.15 p). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Una válvula de bola típica es la válvula de macho (fig. 3.15 q) que consiste en un macho de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90° . Se utiliza generalmente en el control manual todo-nada de líquidos o gases y en regulación de caudal.

Válvula de orificio ajustable

El obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera cilíndrica que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. La tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo (fig. 3.15 r).

La válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.

Válvula de flujo axial

Las válvulas de flujo axial consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido. Se utiliza también para gases (ver figura 3.15 s).

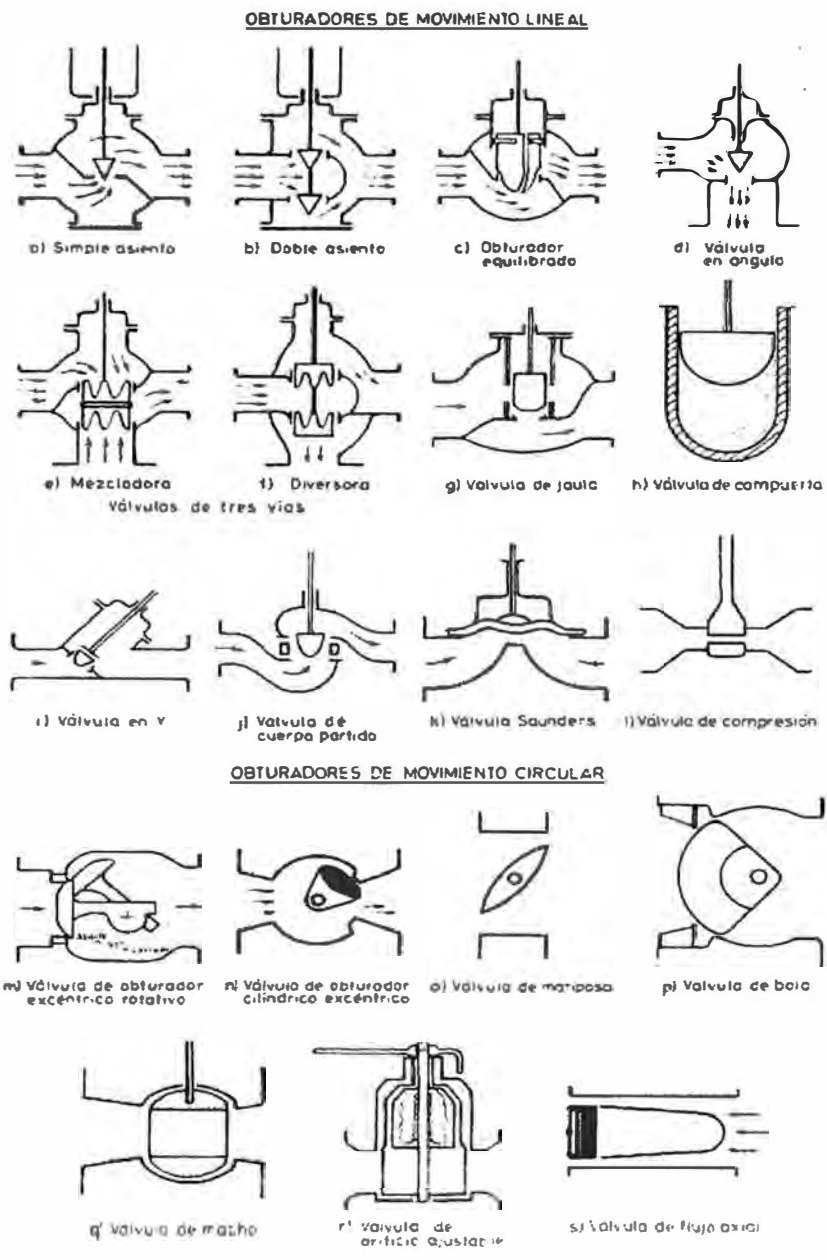


Figura 3.15 Tipos de válvula

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Para mantener constante los parámetros de concentración de lejía, tiempo de reacción, temperatura y tensión del textil, debe estar instalado los controles y la automatización.
2. Es posible ahorrar horas - hombre en la etapa del preparado de soda cáustica con la implementación automática y se puede mejorar la calidad del mercerizado con los sistemas de control.
3. Trabajar manualmente hace que la reproducibilidad de lote a lote sea casi imposible, con la propuesta mejorando los procedimientos y haciendo la selección de equipos apropiados se puede lograr resultados muy buenos.
4. La productividad aumenta (medida con respecto al tiempo de procesamiento continuo) con la implementación del sistema automático, puesto que se eliminan paradas de la unidad de mercerizado ocasionados por el traspaso de la lejía del tanque transportador al tanque auxiliar.
5. La seguridad en cuanto al manipuleo de la soda cáustica aumenta al no tener que prepararla como se venia haciendo con soda cáustica micro perla, puesto que se trabajará con soda al 50% sin necesidad de diluirla.
6. El ingreso de soda cáustica y agua blanda al mercerizado se puede volver constante con el tiempo, si el textil mantiene sus propiedades durante el proceso, mientras que la refrigeración de la soda cáustica del tanque auxiliar no llega a ser constante por efecto del clima y hora de desarrollo.

Recomendaciones

1. Se recomienda capacitar al personal involucrados sobre las bondades que implica la implementación del sistema automático.
2. Se recomienda hacer un estudio para recuperar soda cáustica en los lavados posteriores al mercerizado y de la soda que se desecha por la acumulación de sustancias contaminante que viene del textil.
3. Se puede recoger la información a un computador para llevar un registro del avance del proceso para relacionarlo con la información proporcionada de control de calidad y realizar los ajustes si fuese necesario.
4. Es necesario implementar un sistema de alarmas en caso de falla en los equipos y/o instrumentos de medición.

V. BIBLIOGRAFIA

1. Ollero P.; Fernández E., Control e instrumentación de procesos químicos, 1997. Editorial Síntesis S.A.
2. Creus A., Instrumentación Industrial, 6ta edición, 1998. Editorial Alfaomega S.A.
3. Acedo J, Control avanzado de procesos, 2003. Ediciones Diaz de Santos S.A.
4. Clases de la especialidad de Ing. Textil, Fundamento teórico del mercerizado.
5. Barraza W., Sistema de recuperación de soda cáustica en el proceso de mercerizado.
6. Nava G., Mercerización de hilados y tejidos, 2006. 1 Cd.
7. Escobar C., Blanqueo, tintorería, acabados y estampados textiles.

VI. APENDICE

Concentración de soda cáustica – Datos físicos

°Bé	Peso esp. g/cm ³	g NaOH 100% por 100 g lejía	g NaOH 100% por litro lejía	100 Kg Lejía Contiene NaOH 97.5% Kg	Agua lt	1 m ³ de lejía contiene NaOH 97.5% Kg	Agua Lt	1 Kg NaOH 97.5% proporcio na lejía lt	1 Kg NaOH 97.5% requiere agua lt
1	1.007	0.59	6.0	0.6	99.4	6.2	1001	162.5	164.3
2	1.014	1.20	12.0	1.2	98.8	12.3	1002	81.2	80.3
3	1.022	1.85	18.9	1.9	98.1	19.4	1003	51.6	51.6
4	1.029	2.50	25.7	2.5	97.4	26.4	1003	37.9	38.0
5	1.036	3.15	32.6	3.2	96.8	33.1	1003	29.9	30.0
6	1.045	1.79	39.6	3.9	96.1	40.6	1004	24.6	24.7
7	1.052	4.50	47.3	4.6	95.4	48.5	1004	20.6	20.7
8	1.060	5.20	55.0	5.3	94.7	56.4	1004	17.7	17.7
9	1.067	5.86	62.5	6.0	94.4	64.1	1003	15.6	15.6
10	1.075	6.58	70.7	6.7	93.3	72.5	1002	13.8	13.8
11	1.083	7.30	79.1	7.5	92.5	81.1	1002	12.3	12.4
12	1.091	8.07	88.0	8.3	91.7	90.2	1001	11.1	11.1
13	1.100	8.78	96.6	9.0	91.0	99.1	1001	10.1	10.1
14	1.108	9.50	105.3	9.7	90.3	108	1000	9.3	9.3
15	1.116	10.30	114.9	10.6	89.4	117.8	998	8.5	8.5
16	1.125	11.06	124.4	11.3	88.7	127.8	997	7.8	7.8
17	1.134	11.90	134.9	12.2	87.8	138.4	996	7.2	7.2
18	1.142	12.69	145.0	13.0	87.0	148.7	993	6.7	6.7
19	1.152	13.50	155.5	13.8	86.2	159.5	992	6.3	6.2
20	1.162	14.35	166.7	14.7	85.3	171.0	991	5.8	5.8
21	1.171	15.15	177.4	15.5	84.5	181.9	989	5.5	5.4
22	1.180	16.00	188.8	16.4	83.6	193.6	986	5.2	5.1
23	1.190	16.91	201.2	17.3	82.7	206.4	984	4.8	4.8
24	1.200	17.81	213.7	18.3	81.7	219.2	981	4.6	4.5
25	1.210	18.71	226.4	19.2	80.8	232.2	977	4.3	4.2
26	1.220	19.65	239.7	20.2	79.8	245.8	974	4.1	3.9
27	1.230	20.60	253.6	21.1	78.9	260.1	970	3.8	3.7
28	1.241	21.55	267.4	22.1	77.9	274.3	967	3.6	3.5
29	1.252	22.50	281.7	23.1	76.9	288.9	963	3.5	3.3
30	1.263	23.50	296.8	24.1	75.9	304.4	959	3.3	3.1
31	1.274	24.48	311.9	25.1	74.9	319.9	954	3.1	3.0
32	1.285	25.50	327.7	26.2	73.8	336.1	949	3.0	2.8
33	1.297	26.58	344.7	27.3	72.7	353.5	943	2.8	2.7
34	1.308	27.65	361.7	28.4	71.6	371.0	937	2.7	2.5
35	1.320	28.83	380.6	29.6	70.4	390.4	930	2.6	2.4
36	1.332	30.00	399.6	30.8	69.2	409.8	922	2.4	2.2
37	1.345	31.20	419.6	32.0	68.0	430.4	915	2.3	2.1
38	1.357	32.50	441.0	33.3	66.7	452.3	905	2.2	2.0
39	1.370	33.73	462.1	34.6	65.4	473.9	896	2.1	1.9
40	1.383	35.00	484.1	35.9	64.1	496.5	886	2.0	1.8
41	1.397	36.36	507.9	37.3	62.7	520.9	876	1.9	1.7
42	1.410	37.65	530.9	38.6	61.4	544.5	865	1.8	1.6
43	1.424	39.06	556.2	40.1	59.9	570.5	854	1.7	1.5
44	1.438	40.47	582.0	41.5	58.5	596.9	841	1.7	1.4
45	1.453	42.02	610.6	43.1	56.9	626.2	824	1.6	1.3
46	1.468	43.58	639.8	44.7	55.3	656.2	812	1.5	1.2
47	1.483	45.16	669.7	46.3	53.7	686.9	796	1.5	1.2
48	1.498	46.78	700.0	47.9	52.1	717.9	780	1.4	1.1
49	1.514	48.41	732.9	49.7	50.3	751.7	762	1.3	1.0
50	1.530	50.10	766.5	51.4	48.6	786.2	744	1.3	0.9
51	1.547	52.04	805.0	53.4	46.6	825.6	721	1.2	0.9
52	1.563	52.97	828.0	54.3	45.7	849.2	714	1.2	0.8
53	1.580	54.37	859.0	55.8	44.2	881.0	699	1.1	0.8
54	1.598	55.76	891.0	57.2	42.8	913.8	684	1.1	0.7
55	1.615	57.15	923.0	58.6	41.4	946.7	668	1.1	0.7
56	1.635	58.41	955.0	59.9	40.1	979.5	656	1.0	0.7
57	1.654	59.59	983.0	61.1	38.9	1010.3	644	1.0	0.6
58	1.672	61.30	1015.0	62.9	37.1	1041.0	631	1.0	0.6
59	1.692	62.00	1049.0	63.5	36.4	1075.9	616	0.9	0.6
60	1.710	63.16	1080.0	64.8	35.2	1107.7	602	0.9	0.5

1 Los datos de esta columna solo son exactos si, al disolver, se cuida de que el agua no se evapore por efecto del calor durante la disolución. Por tanto habrá que disolver lentamente o enfriar.

1 litro de agua disuelve a:

0°C 420 g NaOH
 20°C 1090 g NaOH
 50°C 1450 g NaOH
 80°C 3130 g NaOH
 100°C 3650 g NaOH

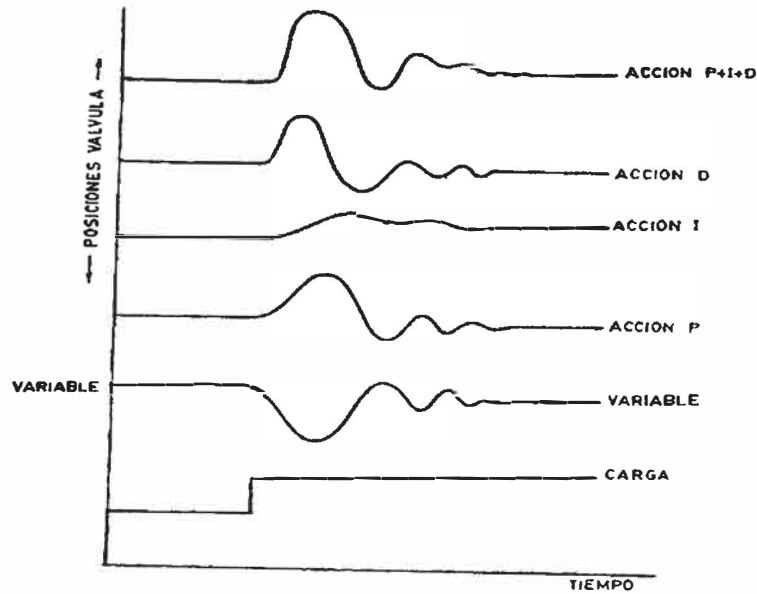


Gráfico 3.1 Acción PID

Control	Proceso		Cambios de carga	Aplicaciones
	Capacitancia	Resistencia		
Todo – nada	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad
Flotante	Media	“	“	Procesos con pequeños tiempos de retardo
Proporcional	Pequeña a media	Pequeña	Moderados	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente
Proporcional + integral	Cualquiera	“	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones, incluyendo el caudal
Proporcional + derivada	Media	“	“	Cuando es necesaria una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral
Proporcional + integral + derivada	Cualquiera	Grande	Rápidos	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperaturas en intercambiadores de calor)

Tabla 3.2 Guía de selección de un sistema de control

Características	Termopar	Termistor	Termorresistencia	Pirometros
Rango de operación (°C) Precisión típica	-200 a 1700 +/- 2.2°C a 0°C +/- 9.4°C a 1250 °C	-195 a 450 +/- 0.2 °C a 25 °C +/- 1 °C a 150 °C	-250 a 650 +/- 0.1 °C a 0 °C +/- 1.3 °C a 650 °C	-40 a 3000 +/- 0.5%
Deriva	< +/- 5 °C/año	< +/- 0.1 °C/año	< +/- 0.1 °C/año	
Alcance mínimo (°C)	20	1	5	100 a 500
Alcance máximo (°C)	Todo el rango	100	Todo el rango	
Tiempo de respuesta (63%) en líquido (s)	1	1	3	
Repetitividad (°C)	0.1	0.03 a 0.11	0.04	Muy buena
Linealidad	Buena	Pobre	Excelente	Muy pobre
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> _ capacidad de medir a elevadas temperaturas _ se puede encontrar un termopar adecuado a cada tipo de ambiente (oxidante-reductor) _ respuesta rápida sin vaina 	<ul style="list-style-type: none"> _ máxima sensibilidad _ mínimo tamaño _ respuesta rápida _ menor precio 	<ul style="list-style-type: none"> _ gran precisión y estabilidad en amplios alcances _ señal de salida mayor que termopar 	<ul style="list-style-type: none"> _ no requiere contacto con el material _ excelente repetitividad
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> _ máxima deriva _ baja señal de salida _ sujeto a errores asociados a cables de extensión _ requiere compensación 	<ul style="list-style-type: none"> _ alcance muy reducido _ no puede medir temperatura muy elevadas (>450 °C) _ sujeto a errores de autocalentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> _ frágil _ sujeta a errores de autocalentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> _ linealidad muy pobre _ efecto de la emisividad _ mas caro que termopar

Tabla 3.3 Características generales de los sensores de temperatura más usados