



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Implementación del control distribuido
en una máquina de papel

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Eléctrico
(Área Eléctrico Electrónica)

P R E S E N T A

Ezequiel Cano Bautista

ASESOR DE INFORME

Dr. Hoover Mujica Ortega



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021

Jurado asignado

Presidente: M.I. Antonio Salvá Calleja

Secretario: M.I. Ricardo Garibay Jiménez

Vocal: Dr. Hoover Mujica Ortega

1^{er} suplente: Mtra. Gloria Correa Palacios

2^{do} suplente: Ing. Abel Villanueva Peña

Ciudad Universitaria, Departamento de Control y Robótica, Laboratorio
de Automatización.

Ciudad de México

Asesor de informe

Dr. Hoover Mujica Ortega

Agradecimientos

A mi entrañable Universidad Nacional Autónoma de México mi *alma máter*.

A mis padres que gracias a su apoyo, amor y enseñanzas esto es posible.

A mi profesor y asesor Dr. Hoover Mujica Ortega.

A mis hermanos mayores que inspiraron en mi estudiar ingeniería.

Dedicatoria

A mi madre, mujer virtuosa y esforzada, a quien debo mi formación.

A mis hijos y esposa a quienes amo.

A mi nieto Kael, cuya llegada a este mundo nos trajo felicidad.

Resumen

La máquina de papel fue instalada en el año 1983 y el sistema que usaba para los controles de la máquina era un sistema analógico llamado Spec 200, el cual se introdujo al mercado en el año 1973. Este sistema no era capaz de registrar los eventos de la operación de la máquina, tampoco alarmas detalladas de proceso, históricos y mensajes de operación. La implementación o modificación de nuevas estrategias de control eran más difíciles de llevar a cabo.

Para el año 1997, el sistema Spec 200 era ya un sistema obsoleto y las máquinas de papel de ese año ya incluían un Sistema de Control Distribuido (DCS, por sus siglas en inglés) para controlar su operación, además empezaba el uso de fibras secundarias en la planta, las cuales traían muchas impurezas en comparación con la fibra virgen que era muy limpia. Por tanto, era necesario implementar sistemas de depuración y limpieza, además de conocer con más precisión las fallas que ocurrían en la máquina de papel e implementar soluciones. Por todo lo anterior se consideró necesaria la instalación del un DCS en dicha máquina.

Con la instalación del DCS, en la cual tuve amplia participación, se logró un mayor control sobre la máquina de papel, ya que se disponía de herramientas tales como la configuración de controles analógicos, secuencias y programación, todas las tareas de elaboración y puesta en marcha. Además contamos con la capacidad para elaborar históricos y tendencias de las variables, alarmas y mensajes para los operadores, con estas herramientas se pudo conocer cuales eran las causas de las fallas y, por lo tanto, proponer soluciones que las mitiguen, así como la implementación de nuevas estrategias de control.

También se implementaron todos los enclavamientos de máquina (yankee, prensa, bombas de vacío, regaderas en fieltro, lubricación en rodillos, etc.) en algunos casos se ampliaron las condiciones de seguridad con los enclavamientos y en otros casos se implementaron los enclavamientos con el sistema analógico.

Posterior a la instalación y arranque del DCS, como parte de mis labores en la planta, participé en la implementación de nuevos lazos de control para los sistemas que fueron instalados y que a continuación se describen brevemente.

En el año 2000 se instala el sistema de depuración para la limpieza del agua de plásticos y tintas, debido al uso de fibra reciclada que tiene un alto contenido de tintas y plásticos.

En el año 2005 se construyó una recirculación de aire caliente del lado seco al lado húmedo para reducir la temperatura y la humedad del lado seco y desalojar el aire húmedo, esto en el sistema de aire caliente.

Para 2007 se implementa en el DCS la medición del metraje en el enrollador con el cual contabilizamos los tiempos perdidos, toneladas producidas, número de rollos duros producidos y toneladas de merma. Este sistema nos ayuda a determinar la producción, merma y tiempos perdidos de la máquina.

En el año 2012 realizamos mantenimiento mayor a la caja de entrada, cambio de la campana, cambio de líneas neumáticas de los doctores del yankee, cambio de líneas neumáticas del tanque pulmón, limpieza y revisión de la caja de entrada. Adicionalmente, se logró la implementación de controles en tanque pulmón, control en cribas presurizadas, control del doctor del formador y se modificó el recorrido del fieltro por lo cual se modifican los controles del fieltro.

En el año 2014 reemplazamos el sistema de control de calidad (QCS) y se conectó al DCS a través del APP que toma las variables que ya estaban en el DCS y las usa el QCS para realizar el control del peso base, humedad y perfil de humedad del papel (PB, H, CD).

Finalmente, en 2016 se implementa en el DCS el control de un refinador el cual controla el *freness* de la pulpa, característica que le da resistencia al papel.

En este trabajo, se describe en cierta medida, la implementación de los controles de una máquina de papel en sus diferentes áreas, por lo que será necesario explicar las áreas y los controles que se implementaron.

Contenido

Índice de figuras	VII
Índice de tablas	IX
1. Introducción	1
1.1. Definición del problema o contexto de la participación profesional	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Organización del informe	2
2. Marco teórico	3
2.1. Pulpeo	3
2.2. Preparación de pastas	4
2.2.1. Despastillado.	4
2.2.2. Refinado	4
2.2.3. Depuración	4
2.2.4. Mezclado	4
2.3. Sistema de aproximación	4
2.4. Formación	5
2.5. Prensado	6
2.6. Secado	7
2.6.1. Proceso de secado con cilindro Yankee	7
2.6.2. La teoría de secado con el cilindro Yankee	8
2.6.3. Sistema de vapor y condensado.	9
2.6.4. Campana del Yankee y sistema de aire	10
2.6.5. Sistema de Control de Calidad (QCS)	11
2.6.5.1. Marco de medición.	11
2.6.5.2. El escáner.	11
2.6.6. Sistema de control de humedad transversal	14
2.7. Crepado.	16
2.7.1. Yankee spray (<i>Chilling Shower</i>)	17
2.8. Enrollado.	18
2.9. Control.	19
3. Análisis y metodología empleada	23
3.1. Análisis de pulpeo	23
3.2. Controles en preparación de pastas	24
3.2.1. Despastillado	24
3.2.2. Refinado	25
3.2.2.1. Secuencia de operación del sistema de refinación	25
3.2.2.2. Listado de puntos configurados en el DCS	27
3.2.2.3. Estrategia de control del refinador	29
3.2.2.4. Descripción lógica del refinador	30
3.2.3. Depuración	31
3.2.3.1. Cribas presurizadas	31
3.2.3.2. Depuradores centrífugos	31

3.2.4. Mezclado	32
3.3. Controles en el sistema de aproximación	33
3.4. Análisis de formación	34
3.5. Análisis prensado	35
3.6. Implementación de controles para secado.	39
3.6.1. Vapor y condensado.	39
3.6.2. Sistema de aire caliente.	43
3.7. Sistema de retracción de la campana Unidad Hidráulica	44
3.7.1. Principio de funcionamiento.	44
3.7.2. Dispositivos.	44
3.7.3. Interfaz del operador.	44
3.7.4. Descripción de funcionamiento.	44
3.7.5. Interlocks.	45
3.7.6. Señales monitoreadas.	45
3.7.7. Ajuste operativo.	45
3.8. Control sistema retracción campana LH	46
3.8.1. Principio de operación.	46
3.8.2. Dispositivos.	46
3.8.3. Interfaz del operador.	46
3.8.4. Descripción de funcionamiento.	46
3.8.5. Monitoreo de señales.	47
3.9. Control del sistema de retracción de la campana LS.	47
3.9.1. Principio de funcionamiento.	47
3.9.2. Dispositivos.	47
3.9.3. Interfaz del operador.	48
3.9.4. Descripción de funcionamiento.	48
3.9.5. Enclavamientos	48
3.9.6. Monitoreo de señales.	49
3.10. Controles en el sistema de control de calidad (QCS)	50
3.10.1. Control de humedad en dirección transversal.	50
3.10.2. Control de peso base y humedad en dirección máquina.	51
3.11. Controles de crepado.	51
3.11.1. Control en la regadera <i>chilling shower</i>	52
3.12. Controles de enrollado.	53
4. Resultados obtenidos	55
4.1. Aportaciones profesionales	55
4.2. Descripción del puesto de trabajo	56
5. Conclusiones	59
Bibliografía	61

Índice de figuras

2.1. Imagen ampliada de papel	3
2.2. Formación.	6
2.3. Cilindro Secador Yankee.	8
2.4. Transferencia de calor en secador.	8
2.5. Formación del anillo de condensado.	9
2.6. Termocompresor.	10
2.7. Marco de medición y escáner.	11
2.8. Sensor PB (Emisor-Receptor).	13
2.9. Sensor de humedad.	14
2.10. Control transversal (CD)	14
2.11. Estructura de la hoja de papel <i>tissue</i>	16
2.12. Zonas de control del <i>coating</i>	18
2.13. Red de control de máquina <i>tissue</i>	20
2.14. Diagrama gabinete HPM.	21
2.15. Estación Universal	22
3.1. Tipos de <i>pulpers</i>	24
3.2. Internos del Despastillador.	25
3.3. DTI Refinación	29
3.4. Grupo operativo control energía en refinador	31
3.5. Grupo operativo control flujo en refinador	31
3.7. Grupo operativo para mezclado	32
3.6. Receta para mezclado de fibras.	32
3.8. Programa de mezclado	33
3.9. Grupo operativo para control de pasta	33
3.10. Grupos operativos de control de cribas	34
3.11. Diagrama de flujo de la caja de entrada.	34
3.12. Grupo operativo control V_p/V_t	35
3.13. Control velocidad de regaderas.	35
3.14. Chorro entrando a la zona de formación.	36
3.15. Recorrido del fieltro y prensa.	38
3.16. Sistema de vacío.	38
3.17. Grupo operativo sistema de vacío.	38
3.18. Grupo operativo para bajar-subir-cargar prensa.	39
3.19. Grupo operativo vapor y condensado.	41
3.20. Secuencia de operación de vapor y condensado.	42
3.21. Diagrama de campana de secado.	49
3.22. Grupo operativo controles de la campana.	49
3.23. Desplegado para control perfil de humedad CD.	50
3.24. Diagrama del control perfil de humedad CD.	51
3.25. <i>Unidad Chilling Shower</i>	52

Índice de tablas

2.1. Inversión en la sección húmeda.	6
--	---

Capítulo 1

Introducción

El presente trabajo tiene como principal finalidad la descripción del proceso de implementación de controles en las diferentes áreas de una máquina de papel durante la instalación de un DCS.

El papel es un material que se presenta como una lámina fina hecha con pasta de fibras vegetales u otros materiales molidos y mezclados con agua, secados y endurecidos después que se utiliza para escribir, dibujar, envolver cosas, etc.

1.1. Definición del problema o contexto de la participación profesional

Debido al avance tecnológico en el control de procesos, a la obsolescencia de los equipos de control y al uso de fibras recicladas era necesario reemplazar el equipo de control, de lo contrario nos veríamos perjudicados por la falta de partes, el mal funcionamiento de los equipos de control obsoletos y a la necesidad de adecuar el control de proceso al uso de fibra reciclada.

La máquina y su control analógico, había sido instalado en el año de 1983, por lo cual decidimos elaborar una petición de reemplazo al corporativo de la empresa para instalar el sistema DCS de Honeywell, el reto era importante ya que teníamos que hacerlo prácticamente sin parar la producción de la máquina. En esto nos ayudó el conocimiento que teníamos de la máquina y la información que teníamos de la misma.

Recibimos la autorización y presupuesto para este reemplazo y empezamos a trabajar en 1997. En colaboración con una empresa contratista, se elaboraron los diagramas de lazo, los diagramas de alambrado de los centros de control de motores (CCM), la instalación de tuberías y cableado de señales del campo al HPM y de los arrancadores al PLC.

1.2. Objetivo

En este proyecto el objetivo principal fue reemplazar el sistema de control analógico por el sistema de control distribuido y hacerlo prácticamente sin parar la producción de la máquina.

También teníamos que realizar todas las actividades de instalación sin ocasionar paros de maquina o algún otro problema con las instalaciones existentes, por cual fue un proyecto donde debíamos tener mucha supervisión y control de las actividades.

La capacitación al personal de operación tendríamos que hacerla antes de pasar todo el control del sistema analógico al DCS.

La verificación del funcionamiento de los controles en el DCS fue una actividad a realizar, para esta actividad nos sirvió los registros históricos, los mensajes y alarmas que genera el sistema.

Todo lo realizamos con la maquina en movimiento y sin tiempos perdidos, en algunos casos solo podíamos hacer cambios con la maquina parada y aprovechábamos los paros de mantenimiento para hacer los cambios.

1.3. Organización del informe

El presente trabajo consta de cinco capítulos los que abordan el proyecto de reemplazo del sistema de control analógico por el sistema de control distribuido en todas las áreas de la máquina de papel.

En el Capítulo 1 se muestra la necesidad de realizar el reemplazo del sistema de control analógico, por un sistema nuevo y con tecnología actual. En los años anteriores a 1997 se usaba fibra virgen y no teníamos problemas de limpieza, pero el paradigma cambio y se empezó a usar fibra secundaria y los problemas de limpieza empezaron a surgir.

En el Capítulo 2, se describen las diferentes áreas de que consta la máquina de papel, así como los controles necesarios y su implementación en el control distribuido. Se empieza con el pulpeo y se termina con el área de control donde se muestra la red existente.

Para el Capítulo 3, se menciona el análisis y metodología utilizada para implementar las estrategias de control para cada etapa de la fabricación del papel. Esto se realizó desde la instalación y arranque del DCS y actualmente seguimos implementando controles que son útiles a la máquina.

En el Capítulo 4, se mencionan los resultados obtenidos en la implementación del DCS para controlar la máquina de papel, los cuales consideramos que fueron buenos y que llevo a la máquina a romper sus marcas de producción anteriores, los tiempos perdidos y el costo de producción.

Finalmente, en el Capítulo 5, se muestran las conclusiones.

Capítulo 2

Marco teórico

Definición. El papel es un a fieltro de fibras unidas tanto físicamente, por estar entrelazadas a modo de malla, como químicamente por puentes de hidrógeno. Se cree que fue inventado por Ts'ai Lun en el año 105 adC.

Las fibras para su fabricación requieren de unas propiedades especiales, como alto contenido en celulosa, ser baratas y de fácil obtención; por lo que las más comúnmente usadas son las vegetales. El material más comúnmente utilizado es la pulpa de madera de árboles, principalmente pinos (por precio y calidad de fibra muy larga) y eucaliptos (muy barata y resistente), pero otros materiales como el algodón y el cáñamo también pueden ser utilizados.

La Figura 2.1 presenta una muestra ampliada del papel.

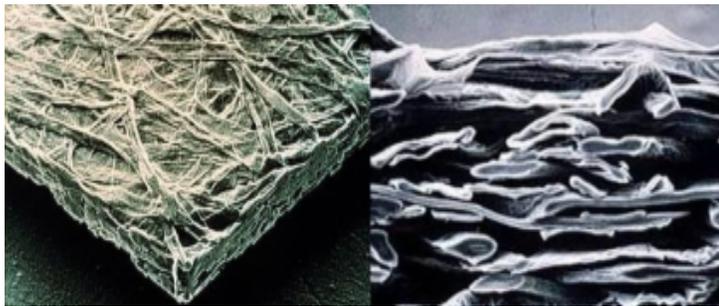


Figura 2.1. Imagen ampliada de papel
Fuente:Tecnología propiedades del papel ABTCP/UFV

A continuación, se menciona las etapas por las que pasa el proceso de fabricación de papel y en cada una de ellas abordaremos las estrategias de control necesarias para mantenerla en control.

2.1. Pulpeo

Aquí empieza el proceso de fabricación de papel, la llegada de fibras es por laminas prensadas con humedad en torno al 10%, cuando se tiene que alimentar el sistema con láminas de pasta existe la necesidad de formar una suspensión de fibras en agua con la consistencia adecuada para poder utilizarla en las etapas posteriores del proceso. Esto se obtiene a través de la etapa de desintegración. El desintegrador, también llamado Hydrapulper o simplemente Pulper, es un equipo similar a una licuadora gigante, cuya estructura corresponde a un tanque de acero. La forma del tanque y su tamaño están determinados por la capacidad de producción de papel requerida y la consistencia de operación (6 a 12% para *pulpers* convencionales).

2.2. Preparación de pastas

Es el conjunto de operaciones que se realizan con los materiales fibrosos con el fin de impartirles propiedades que permitan formar una hoja de papel con las características deseadas. Dentro de esta etapa se realizan las siguientes operaciones [López, 2001]:

2.2.1. Despastillado.

La operación de despastillado tiene como objetivo la separación de las fibras restantes en los grumos o haces fibrosos que no han sido desintegrados durante el proceso de pulpeado. Estos grumos y pastillas pueden proceder de calidades estucadas, de aplicación de tratamientos superficiales o contenidos elevados de resinas de resistencia en húmedo. Para desestructurar completamente estos grumos es necesaria la etapa de despastillado.

2.2.2. Refinado

Es un tratamiento mecánico al que se somete a las fibras de celulosa en suspensión acuosa, provocando la modificación de morfología de las fibras y en su estructura físico-química con objeto de dar a las pastas las propiedades papeleras deseadas.

2.2.3. Depuración

Por el término depuración se entiende, en el proceso de fabricación de papel, la operación unitaria que se encarga de eliminar las impurezas que no son necesarias, tanto desde el punto de vista de papel como el propio funcionamiento del proceso. En lo que concierne al papel, la presencia de impurezas y sus características mecánicas y su aspecto exterior (blancura, presencia de astillas, pastillas, etc.) impacta a la fabricación, la presencia de impresiones voluminosas o gelatinosas pueden causar agujeros, incluso roturas del papel, a la salida de la formación de la hoja, en la sección de prensa, en la sección de secado o en el enrollado.

La depuración puede variar en uno o varios puntos entre la desintegración y la cabeza de la máquina, tanto el tipo de papel como la fabricación. En el caso de una materia prima conteniendo muchas impurezas, por ejemplo, papel sin clasificar, una primera depuración, empezaría en el pulper y lo prosigue después, a una consistencia del 3% al 4%, con el objeto de eliminar todas aquellas partículas que pudieran dañar o desgastar los internos de los equipos posteriores (despastilladores, refinadores, etc.), así como obtener una suspensión con el mínimo posible de contaminantes; sin embargo, esta depuración no es necesaria en el caso de utilizar una materia limpia, tal como la pasta virgen. Por otra parte, la depuración de la cabeza de máquina, es realizada en una consistencia igual o inferior al 1%, será común a cualquier tipo de fabricación.

2.2.4. Mezclado

En esta etapa se mezclan todas las fibras que formarán el tipo de papel a fabricar y que le darán las características establecidas por el departamento de calidad (suavidad, blancura y resistencia).

2.3. Sistema de aproximación

El circuito de aproximación corresponde al eslabón entre el área de la preparación de pasta y la unidad de formación de la máquina de papel. Su función básica es el transporte de la suspensión hasta la máquina, proporcionando un flujo estable, homogéneo y limpio. En él, forman parte las bombas de pasta con drive para variar el flujo de pasta, medidores de flujo de pasta, medidores de consistencia, válvulas de dilución para controlar la consistencia y bombas de abanico para diluir la pasta con motores para variar el flujo de agua, de cribas presurizadas con transmisores de presión diferencial y purga de rechazos. Se trata de un conjunto esencial para la fabricación de un producto de buena calidad. Este conglomerado de equipos estáticos y dinámicos de varios proveedores debe funcionar juntos en todas las bandas de gramaaje y

velocidades de la máquina de papel.

Parámetros como perfil longitudinal de gramaje, formación de la hoja, ausencia de contaminantes en el papel pueden ser influenciados y controlados a través del circuito de aproximación. Los fenómenos como fluctuaciones de consistencia y/o de flujo, pulsaciones hidráulicas, vibraciones mecánicas, admisión de aire, velocidades inadecuadas en el interior de las tuberías y acabado inapropiado de las superficies internas de las mismas, influenciarán negativamente los parámetros anteriores. Por lo tanto, un circuito de aproximación bien proyectado deberá ofrecer condiciones para que tales fenómenos no ocurran o que se minimicen a niveles no perjudiciales a la calidad deseada.

El sistema de aproximación puede tener un impacto significativo en el rendimiento de la máquina y en la calidad del papel, por lo que debe considerarse importante como cualquier otra parte de la máquina de papel.

2.4. Formación

Dentro del proceso de fabricación de papel, la caja de entrada ocupa una posición de extrema importancia. Representa el eslabón de unión entre la parte constante de la instalación de preparación de pasta y el resto de la máquina de papel y la tarea de introducir y distribuir la pasta de fibras en suspensión a lo largo de toda la anchura de la máquina, a un flujo con volumen y presión constantes en cuanto al tiempo y al punto de incidencia en la zona de formación de la hoja, con concentración uniforme de material fibroso y no fibroso [DaSilva, 2012].

La alimentación de la suspensión fibrosa para la máquina de papel debe ser realizada de manera más uniforme posible, con flujo perfectamente regular y homogéneo sobre toda la anchura, con las fibras dispersadas uniformemente, sin agrupamiento en copos, torbellinos o corrientes; el flujo de la suspensión deberá tener una velocidad constante y compatible con la velocidad de las telas. La utilización de bajas consistencias nos permite obtener esta homogeneización y distribución uniformemente dispersas en la suspensión. Con altas consistencias, existe la tendencia de formar escamas de fibras que afectan la formación de la hoja.

La caja de entrada tiene una participación efectiva en la calidad del producto (hoja de papel), así como para la productividad de la máquina de papel. Para cada tipo de formador hay una caja de entrada apropiada, pero el principio básico de funcionamiento de la caja de entrada y del sistema de aproximación no se cambia. Todo este proceso define la formación de la hoja, o sea, es el punto más importante en el proceso de fabricación de papeles *tissue*. En las cajas de entrada del tipo *fourdrinier* la regulación se hace solamente en el labio superior y en el *crescent former*, además de esta regulación, se debe controlar el posicionamiento de la caja en el sentido horizontal y vertical, y el ángulo de impacto del chorro en las telas.

Todos los cuidados especiales deben tomarse antes de la caja de entrada. Su funcionamiento se realiza en función del flujo, y se basa en las diferentes velocidades del flujo interno para que genere microturbulencia y no haya floculación de las fibras u otras perturbaciones de proceso. Esta condición es indispensable para cualquier tipo de formador.

Una buena formación de la hoja en una escala muy fina con ningún copo y ninguna granulación es deseada. Esto significa que la caja de entrada debe generar suficiente energía para la desfloculación de las fibras. Sin embargo, la formación no es sólo resultado del desempeño de la caja de entrada, sino también del método de formación, consistencia de la caja de entrada, diferencia de velocidad entre el chorro y la tela, diseño de la tela formadora, etc.

La formación de la hoja de papel es hecha por la deposición de fibras de una suspensión acuosa, con consistencia a partir del 0.15 % (“tissue”), sobre la tela de la máquina. Más del 98 % del agua puede ser removido por drenaje en la tela. Para cualquier sistema de formación, el principal requisito es producir una hoja que tenga distribución uniforme de fibras. Para alcanzar esto, las fibras deben ser uniformemente dispersadas en la suspensión, la cual debe ser enviada a la sección de formación ya como una película uniforme. En el nivel físico, podríamos comparar la formación a la uniformidad con que el papel transmite

la luz. Así pues, el mejor papel será el que presenta un aspecto más uniforme contra la luz (Ver figura 2.2).

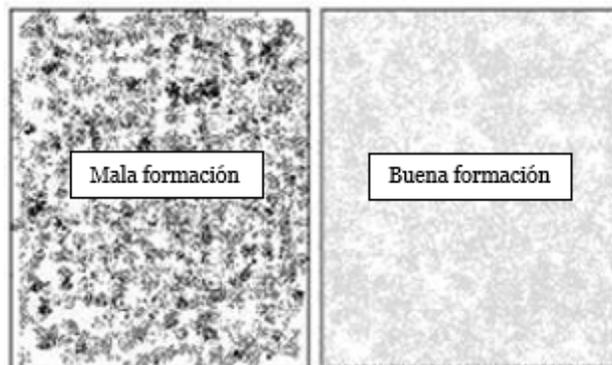


Figura 2.2. Formación.

Fuente: montaje Edison da Silva Campos

2.5. Prensado

En la máquina la resistencia mecánica de la hoja húmeda aumenta a medida que el agua es removida. En la salida de la caja de entrada la suspensión de fibras que tiene una consistencia del 0.2 %, por ejemplo, y por drenaje llega al 2.5 % cuando se acerca a las cajas de succión y, dependiendo del papel, alcanza después de pasar por el rodillo de succión a una concentración de sólidos de 10 a 20 %. Estos son los límites posibles de remoción de agua por vacío. La película de agua, mantenida por la tensión superficial en las fibras, puede ser removido por prensado. El agua restante después del prensado estará retenida por la capilaridad dentro de los poros de las fibras y dentro de los cristalitas de la celulosa. Esta agua, principalmente la última, sólo puede ser removida por la aplicación de calor [DaSilva, 2012].

La función primordial del prensado de una máquina de papel es quitar la cantidad máxima posible de agua de la hoja de papel (para incrementar el contenido seco) antes de someterla al secado por calor, interfiriendo en la consolidación de ésta en el “nip”. El “nip” es la denominación dada al área de contacto entre el cilindro y la prensa. Esta área puede variar en función de la dureza del material del revestimiento de la prensa, fuerza aplicada por la prensa, espesor del fieltro, diámetro de la prensa, etc. El incremento del 1 % en el contenido seco final de la hoja en las prensas resulta en el ahorro de vapor de aproximadamente el 4 al 5 % o el equivalente en aumento de velocidad. La función secundaria es aumentar la resistencia húmeda de la hoja e influir en las propiedades físicas y superficiales de la misma: la reducción del volumen específico y la mejora de la lisura de la hoja.

La importancia de la inversión en la sección húmeda, con el fin de alcanzar el mayor contenido seco posible antes del secado, puede ser esclarecida por la Tabla 2.1

Secciones de máquina	Consistencia	Desaguado	Consumo aprox. energía	Costo aprox. desagiie
Formación	De 0.2 a 10 %	98.2 %	13 %	~ 10 %
Prensado	De 10 a 44 %	1.6 %	7 %	~ 12 %
Secado	De 44 a 94 %	0.2 %	80 %	~ 78 %

Tabla 2.1. Inversión en la sección húmeda.

Debido a los aumentos constantes del precio de la energía (tanto eléctrica, como de los derivados del petróleo), las secciones de prensado y de secado están en continuo proceso de optimización, buscando la reducción de estos costos. Además de la importancia económica, estas secciones son responsables por

buena parte de las características ligadas al *handfeel* del papel “tissue”.

En las máquinas actuales, el prensado se realiza con rodillos de succión, ranurados o con agujeros ciegos, que poseen capacidad de remoción de agua mucho mayor que las prensas de rodillos lisos. En el caso de las prensas de succión la remoción del agua es efectuada por la acción combinada de la compresión mecánica y de la succión, aplicada a través de la estructura porosa del rodillo inferior.

Diversos modelos fueron estudiados y discutidos para el conocimiento de lo que ocurría en el “nip” de una prensa. Se basan en estudios y experimentos de laboratorio, que se extrapolaron a una condición real de prensado.

El concepto básico de prensado fue primero formulado por *B. Wahlstrom* en 1960, y progresivamente refinado por el propio *Wahlstrom* y muchos otros, resultando en el rápido desarrollo del concepto de prensado. El modelo matemático de *Wahlstrom* presentado en el Simposio Internacional de Prensado y Secado en 1968, es el más difundido y fue de gran valor para el entendimiento del prensado entre los “nips” de presión controlada y flujo controlado.

2.6. Secado

El secado a través de la evaporación es el estado final de la remoción del agua de la hoja de papel después de que se forma sobre la doble tela y prensada en la sección de prensas. Debido al alto costo de la remoción de agua mediante evaporación, es esencial que la humedad de la hoja antes del secado sea lo más baja posible [DaSilva, 2012].

2.6.1. Proceso de secado con cilindro Yankee

Bajo la denominación de cilindro “Yankee” se incluyen todos los cilindros secadores de hierro fundido empleados en la fabricación de papeles de tipo crepado, tales como papeles sanitarios y faciales, muchas variedades de papeles servilletas, toallas. Estos productos son todos diferenciados por el hecho de que han sido removidos del cilindro a través de la acción mecánica de una cuchilla crepadora.

En general, los productos “tissue” se fabrican a las más altas velocidades y altas presiones de vapor que los papeles mono lúcidos. Las características de diseño que distinguen el cilindro “Yankee” de los otros cilindros es el eje central. Debido al hecho de que los cilindros “Yankee” son típicamente mayores en diámetro que los demás secadores, el eje central es necesario para estabilizar la presión y reducir el esfuerzo axial de la carcasa del cilindro.

El cilindro “Yankee” es el corazón de la máquina de papel en la industria de “tissue” debido a una alta tasa de secado por contacto.

Los cilindros “Yankee” tienen normalmente un diámetro que varía de 3.5 a 6.0 metros, siendo responsable del 45 % al 65 % del secado. Se trabaja con presiones de 6 KGF/CM² (158 C) a 8 KGF/CM² (170 C) de vapor saturado, siendo considerados recipientes a presión. En algunos casos se utilizan presiones mayores o iguales a 10 KGF/CM² y opera a velocidades que pueden superar 2,200 m/min, actualmente. Los secadores actuales llegan a pesar unas 180 toneladas. Muy típicamente, un “Yankee” de ese tamaño podría tener una geometría de carcasa guarnecida con soportes, y proyectada para aumentar la transferencia de calor y resistencia.

Todos los metales cuando se calientan sufren dilatación, en todas las direcciones. Los secadores “Yankee”, normalmente, cuando se calientan de la temperatura ambiente a la temperatura de trabajo, sufren una dilatación en torno al 0.1 %, es decir, un secador con 4,5 m se dilata aproximadamente 4.5 mm de diámetro. Calentamientos y enfriamientos, hechos de manera inadecuada, pueden generar tensiones y deformaciones llevando a fallas y fatigas.

La superficie de un cilindro mono lúcido debe ser perfectamente lisa, es decir, particularmente importante cuando el secador se utiliza para producir papeles lisos (mono lúcidos), porque la superficie del secador se utiliza para dar un acabado brillante. Cuando se hace papel “tissue” crepado es necesaria una superficie

lisa para obtener un crepado uniforme. Como el uso del cilindro mono lúcido implica la adhesión de la hoja de papel, el acabado superficial del mismo es más importante que en los cilindros secadores para secado multicilindros, a pesar de que una superficie lisa es importante en ambos casos. La superficie del cilindro secador mono lúcido debe cumplir especificaciones, dependiendo del papel que se haya producido. En el secador mostrado en la figura 2.3, el vapor se introduce a través de un extremo y el condensado se quita a través de otro.

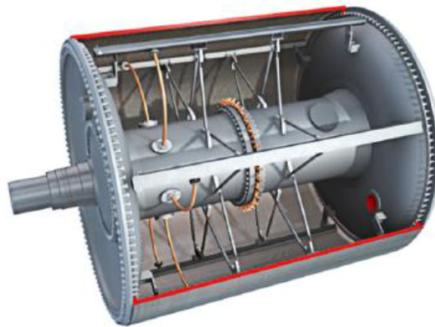


Figura 2.3. Cilindro Secador Yankee.
Fuente: Metso Pater

2.6.2. La teoría de secado con el cilindro Yankee

El flujo de energía por las diferentes capas que componen el sistema de transmisión de calor está representado en la Figura 2.4.

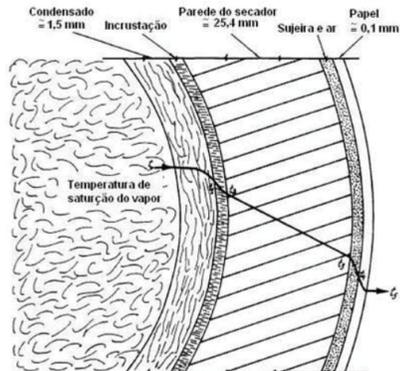


Figura 2.4. Transferencia de calor en secador.

Observar que el flujo de energía es inversamente proporcional al grosor de la capa. La camisa del secador (hierro fundido) ofrece una baja resistencia al flujo de energía cuando se compara con la resistencia impuesta por la película de condensado que se forma en el interior del cilindro secador. Para una mejor ilustración basta que hagamos una comparación entre los coeficientes de conductividad térmica del hierro fundido y del condensado, 59 W/mK y 0.67 W/mK, respectivamente.

Con estos datos se puede decir, de manera sencilla, que el condensado presenta una resistencia a la conducción de calor noventa veces mayor que el hierro fundido, es decir, cada milímetro de película de condensado que se forma en el interior del cilindro equivale a 90 mm de incremento en el grosor de la camisa del cilindro secador. Por lo tanto, el control del espesor de la lámina de condensado constituye un factor de extrema importancia en el rendimiento térmico del sistema. El control de espesor de la lámina de

condensado se realiza por el ajuste de la distancia entre el zapato del sifón y la camisa del cilindro secador.

2.6.3. Sistema de vapor y condensado.

El diseño interno del cilindro “Yankee” se compone de un método para introducir vapor saturado, el medio de transferir calor, a través de la junta rotativa del lado frente (LF) y dentro del interior del eje de rotación del yankee, donde se distribuye a todo el cilindro vía regaderas internas de vapor.

La energía necesaria para el calentamiento y la evaporación del agua contenida en la hoja es suministrada por el vapor (saturado) que condensa en el interior del cilindro secador.

En cilindros “Yankee” modernos y de alta velocidad, el proyecto de sifón rotativo, utilizando exceso de vapor de arrastre para desarrollar un flujo de transporte de dos cargas, es uno de los métodos de remoción interna de condensados de mayor interés.

La entrada de vapor y la remoción del condensado se realiza como en los cilindros convencionales. La energía proveniente del cilindro “Yankee”, necesaria para la evaporación del agua contenida en la hoja, se suministra a través del vapor, y el papel en contacto con la superficie del secador, consume esta energía, provocando la condensación interna al cilindro.

Sin embargo, el secador “Yankee” puede retirar hasta 10 veces más agua que secadores comunes, con la misma área de secado disponible en igual período de tiempo. El gran diámetro hace necesaria la utilización de una geometría un poco diferente que la aplicada en cilindros secadores de papel de pequeños diámetros.

Al ceder calor al cilindro, el vapor da lugar a la condensación interna generando una acumulación de condensado. En las bajas revoluciones, este condensado, debido a la acción de la gravedad, cae formando una cascada y permite así la transmisión de calor uniforme y eficiente. Con el aumento de velocidad ocurre la formación del anillo de condensado, cuya configuración depende de la rotación (velocidad angular) del cilindro. Situaciones típicas de la película de condensado, desde bajas velocidades hasta el extremo de la película formada a alta velocidad se demuestran en la Figura 2.5.[Tappi, 2016]

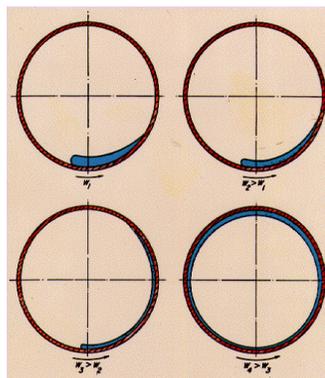


Figura 2.5. Formación del anillo de condensado.

Fuente: Papermarking Science and Technology

Los sifones constituyen un punto de extrema sensibilidad en el sistema de vapor y condensado, y de gran importancia en la eficiencia del desagüe de los cilindros secadores. Hay sifones rotativos y estacionarios. Sin embargo, en cilindros “Yankee” modernos y de alta velocidad, el proyecto de sifón rotativo, utilizando exceso de vapor de arrastre para desarrollar un flujo de transporte de dos cargas es uno de mayor interés.

Los sifones operan por el siguiente principio físico: una diferencial de presión se establece entre la entrada y la salida del cilindro, para crear un flujo y arrastrar el condensado por el sifón, propiciando su retirada

del cilindro. Para ello, es necesario un flujo de vapor adicional al vapor que deberá condensarse para suministrar la energía necesaria. Esta cantidad de vapor adicional se denomina “vapor de arrastre.” “vapor de paso”.

Como ya se ha visto la presión diferencial entre el suministro de vapor y la descarga, resulta la acción de aspiración del exceso de vapor de arrastre que proporciona la fuerza motriz para arrastrar y remover el condensado de los orificios del tubo extractor, manteniendo una fina, película uniforme y no permitiendo la formación de charcos de condensado en el secador.

El condensado que se extrae del secador, normalmente, todavía contiene mucha energía. Una de las maneras de reaprovecharla es captar este condensado en un separador (donde la presión es inferior a la del secador) y el vapor “flash” (reaprovechado) que es producido, re presurizándolo. El termocompresor hace la combinación de este vapor “flash” con vapor de alta energía, y obtiene vapor en la presión de operación, generando considerable ahorro de energía.

El sistema termocompresor está compuesto por subsistemas independientes, donde el vapor de arrastre obtenido en el separador es reaprovechado en el propio grupo por medio del termocompresor. La función del termocompresor es aumentar la presión del vapor de arrastre, ya utilizado en el grupo de cilindros, por medio de vapor de media o alta presión (vapor motriz). El principio de funcionamiento del termocompresor se basa en el Venturi, donde el vapor de arrastre es succionado por una zona de baja presión generada por la inyección del vapor motriz en el termocompresor. En el difusor del termocompresor, la energía cinética suministrada por el vapor motriz se convierte en presión hasta alcanzar el punto necesario para entrar nuevamente al sistema (vapor de descarga). La Figura 2.6 presenta un corte esquemático de un termocompresor:

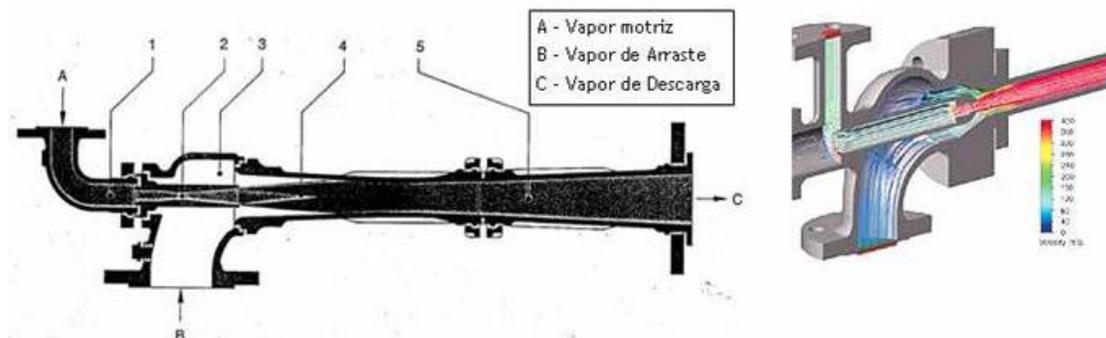


Figura 2.6. Termocompresor.

2.6.4. Campana del Yankee y sistema de aire

La principal función de la campana es la evaporación del agua de la hoja y el agotamiento del vapor de agua liberado en el proceso de secado. Debido a que la hoja está siempre sobre el cilindro secador, la aplicación de aire a alta velocidad se hace factible. Esto reduce al mínimo la parte laminar de la capa del contorno, aumentando así la transferencia de masa. Con este sistema, también es posible suplir calor adicional para la hoja a través del aire para aumentar aún más la tasa de secado.

Hasta pocos años, las campanas contribuyen con aproximadamente el 45 % del secado y el “Yankee” con el otro 55 %. Las campanas de alto rendimiento que equipan las modernas máquinas de papel “tissue” de alta velocidad alcanzaron un nivel muy alto de desarrollo contribuyendo en torno al 65 % de la capacidad de secado, pudiendo operar con temperatura de aire insuflado de hasta 510 C y velocidades de secado hasta 160 m/s. La combinación de altas temperaturas, altas velocidades y aproximación de la hoja contribuyeron al desarrollo de campanas con altas tasas de secado.

En la campana bi-partida con dos zonas, normalmente cada mitad de la capota está diseñada con un sistema de aire independiente, cada uno con ventilador de alimentación y quemador separados. Los sistemas de aire separados permiten una mayor flexibilidad en caso de fallo de algún equipo. Con un sistema dual, la máquina puede seguir operando con la mitad del sistema, a pesar de estar funcionando a una velocidad menor. En esta situación con un sistema único, la máquina tendría que ser apagada.

La distancia entre la campana y el secador “Yankee”, en la que se observa una mayor eficiencia está en el rango de 18 y 20 mm. Esta distancia debe ser calibrada en todos los cuadrantes de la campana, principalmente, después de rectificarse el “Yankee”. Otros factores de influencia, además de la velocidad, son la temperatura y la humedad del aire insuflado.

Con el aumento de la temperatura, también aumenta la transferencia de calor a la hoja. Debido al aumento de la temperatura de la hoja, el cambio térmico con el cilindro se vuelve más difícil, no siendo, por lo tanto, lineal el aumento de secado como aumento de la temperatura del aire insuflado. Este efecto es pequeño, pero debe ser considerado al calcular el incremento de la capacidad de secado y el aumento de velocidad de máquina. Actualmente se está desarrollando mucho el control de las capotas, siendo que las actuales poseen divisiones y controles transversales para poder corregir errores en el perfil de secado. El objetivo de la recirculación de aire es mantener la humedad a un nivel compatible. A veces, el aire nuevo es previamente calentado en intercambiadores de calor.

2.6.5. Sistema de Control de Calidad (QCS)

Este sistema se encarga de mantener el peso base, humedad y perfil de humedad del papel dentro de los valores fijados por el control de calidad de la planta. Está compuesto por: Marco de medición; Escáner (con los sensores de peso base y humedad); Sistema de control humedad transversal (CD) y todo el equipo de hardware y software para controlar las variables antes mencionadas.

2.6.5.1. Marco de medición.

El marco de medición, es una estructura fija instalada entre el Yankee y el reel, que internamente lleva el suministro de energía eléctrica para la electrónica, agua de enfriamiento para evitar el calentamiento de la electrónica y aire para mantenerlo limpio y libre de polvo, el cual es abundante en la fabricación de papel. También tiene todos los dispositivos mecánicos para controlar el movimiento del escáner [DaSilva, 2012].

2.6.5.2. El escáner.

El escáner, es una especie de carro sellado e internamente están los sensores que miden el peso base y humedad del papel y que envían las señales a la tarjeta EDAQ que esta instalado en un extremo del marco y esta a su vez envía los datos al servidor y posteriormente son usados en las estaciones de operación que se encuentran en la cabina de operación (ver Figura 2.7) [Honeywell., 2012].



Figura 2.7. Marco de medición y escáner.

El sensor de peso base. El sensor de peso base, usa una fuente radiactiva (prometium 147) para medir el peso base a lo ancho de la hoja de papel. La fuente radiactiva se encuentra en la parte superior del escáner y esta dentro de un contenedor el cual cuenta con un mecanismo neumático que abre el obturador y deja pasar un as de partículas beta que atraviesan la hoja pero algunas son absorbidos por la hoja, las partículas beta que atraviesan la hoja llegan a una cámara de ionización la cual los convierte en una pequeña corriente y esta corriente es proporcional al peso base del papel.

El emisor (ver Figura 2.8.a) emite partículas beta son electrones que se emiten desde los núcleos atómicos durante la desintegración nuclear. Una vez que han abandonado el núcleo, pueden considerarse como un haz de electrones como el que se encuentra en el tubo de rayos catódicos utilizado en televisores o monitores de computadora de modelos más antiguos. Las partículas beta no son de una sola energía, sino que se emiten en un continuo de energías hasta un valor máximo. Este valor máximo depende de la cápsula utilizada. Cuanto más energética es la energía beta, más penetrante es y, por lo tanto, puede utilizarse para productos más pesados [Honeywell., 2013].

Las cápsulas más utilizadas, en orden de aumentar la energía máxima, son PROMETHIUM-147 (PM-147), Krypton-85 (Kr-85) y Strontium-90 (Sr-90), donde el número significa el isótopo particular utilizado . Las partículas beta emitidas pueden dispersarse de la hoja, pueden ser absorbidas por la hoja o pueden perder energía en la hoja. Las betas que lo hacen a través de la hoja y en el receptor entran en una cámara de ionización. Este es un detector con una salida de corriente pequeña (aproximadamente 1 nano Amper) proporcional a:

(la energía promedio de las betas) * (número de betas por segundo)

La corriente de la cámara de iones pasa por un corto conductor a un amplificador detector con una salida que es una tensión analógica del orden de 1 a 8 V. Esta señal se envía a un circuito electrónico y se lee en una computadora que promedia la señal, para algún intervalo de tiempo prescrito. Luego, utilizando algoritmos almacenados, el software convierte la señal promedio en un peso base calculado del producto.

El principio físico básico utilizado en el sensor de peso base es: a medida que aumenta el peso base de la hoja, la señal en la cámara de ionización disminuye de una manera prescrita.

Una de las principales ventajas de usar emisores beta como fuentes para los sensores de peso base es que las partículas beta son absorbidas casi uniformemente por todas las sustancias: la absorción depende del peso base y no del color, la textura, el estado de la materia u otros factores. Sin embargo, el aire que se encuentra entre la cápsula de la fuente y la cámara de ionización, así como cualquier resto que pueda acumularse en las ventanas de las cabezas, absorberá las partículas beta como el producto que se mide. Por lo tanto, se deben aplicar varios correctores para mantener la precisión requerida del sensor.

Los principales componentes del receptor (ver Figura 2.8.b) de peso base son:

- La cámara de ionización que detecta la radiación beta. Se utilizan diferentes tipos de cámaras de iones para diferentes sensores, aunque todos tienen los mismos requisitos de tamaño y potencia.
- El compensador montado frente a la cámara de iones (hacia la fuente) le otorga al sensor muchas de sus propiedades importantes. El propósito del compensador es reducir la sensibilidad a los aditivos (ceniza) y la línea de paso de la hoja (aleteo). El compensador también afecta el rango y la estabilidad del sensor.
- La electrónica, que proporciona energía a los voltajes adecuados, proporciona puntos de prueba y convierte la corriente de la cámara de iones en un voltaje que es leído y promediado por la electrónica del sistema.
- La tarjeta amplificadora del detector utiliza una resistencia de 20 o 100 MΩ. La ganancia se cambia mediante puentes de soldadura. Vea el esquema para la placa particular utilizada para ganancias y sus conexiones de puentes.

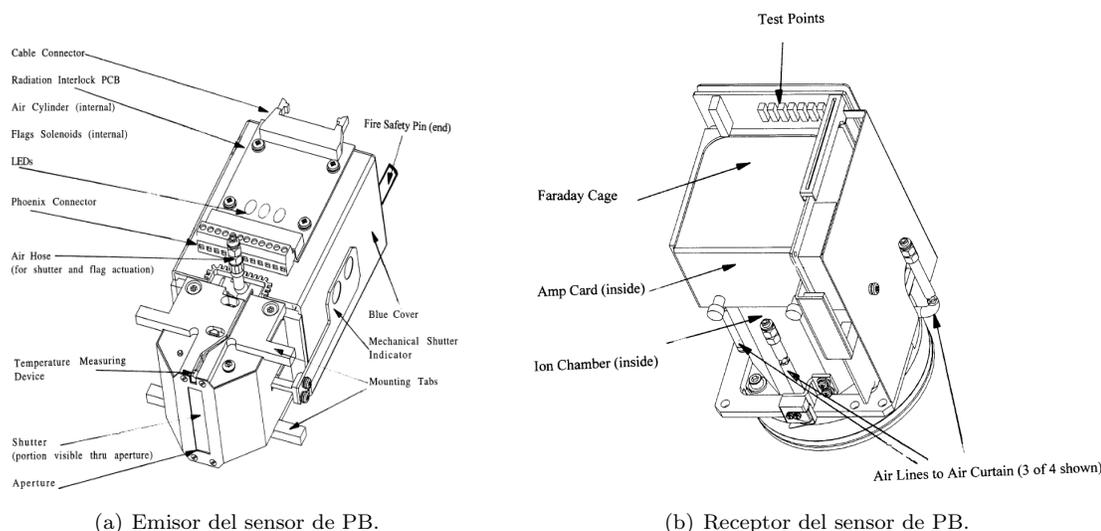


Figura 2.8. Sensor PB (Emisor-Receptor).

El sensor de humedad. Los sensores de humedad IR utilizan la fuerte y muy específica absorción por el agua de la radiación infrarroja a una longitud de onda de 1.9 micrones para proporcionar una medida de la cantidad de agua en papel u otros materiales [Honeywell., 2011]. Los sensores de humedad IR de precisión son sensores de transmisión de 3 canales que miden el peso del agua y el porcentaje de humedad cuando se operan junto con un sensor de peso de base nuclear (ver Figura 2.9.a).

La fuente de alimentación estándar emplea una lámpara halógeno de 20W a 6V de larga duración alimentada por un convertidor DC-DC en una tarjeta de circuito impreso, y se atenúa a 4.4V. Un reflector elíptico enfoca la luz en el *tuning fork* de sintonía de 570 Hz. Un circuito controlador de el *tuning fork* acciona la *fork* y envía su señal de sincronización al receptor. Allí se usa en la demodulación de la señal recibida para hacer que el sensor sea insensible a la luz ambiental (ver Figura 2.9.b).

El receptor tiene elementos ópticos. La luz que atraviesa la distancia entre el emisor y receptor, llega a la ventana del receptor y pasa a un tubo de luz, es recogida por una lente montada en el bloque óptico de la parte inferior del cuerpo y la luz colimada en un haz paralelo. El divisor de haz montado en la parte superior del cuerpo transmite aproximadamente el 60 % al filtro y detector de canal REF, lo que refleja aproximadamente el 30 % al filtro y detector de canal MES.

La luz que alcanza la ventana del receptor pasa a un segundo tubo de luz se recoge mediante una segunda lente montada en el cuerpo inferior, se colima la luz en un segundo haz paralelo y se atenúa un filtro de densidad neutra, también montado en la parte inferior del cuerpo. Un segundo divisor de haz en el segundo cuerpo superior refleja aproximadamente el 30 % del filtro y detector del tercer canal, y transmite aproximadamente el 60 % a un conjunto de espejo.

La electrónica del receptor. El IR para cada canal se detecta mediante un detector fotoconductor PbS y se amplifica en el conjunto del detector *Fast PbS* o en el conjunto del detector PbS. Cada canal se amplifica adicionalmente mediante un PCBA *Fastcard* y se demodula utilizando la señal de fase de la fuente, lo que da como resultado una señal de 0-10 V_{CC} para lectura. El detector PbS contiene un termistor y un enfriador *Peltier* que, junto con el control de temperatura PCBA, mantienen la temperatura del detector a pocos grados por encima de la congelación. Esto aumenta la sensibilidad, reduce el ruido y disminuye la sensibilidad a la temperatura, mientras que el control de temperatura mantiene una sensibilidad precisa a la señal IR ($\pm 0.005C$).

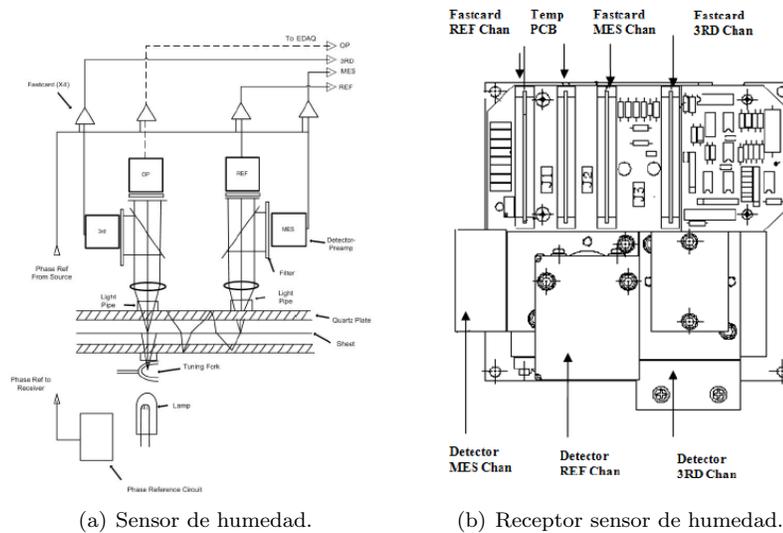


Figura 2.9. Sensor de humedad.

2.6.6. Sistema de control de humedad transversal

El Sistema de control de humedad transversal (CD), es un sistema que aplica vapor a la banda de fibra antes de la prensa y a lo ancho de la máquina, esta aplicación es realizada con 36 actuadores neumáticos a lo ancho de la máquina y el porcentaje de apertura de dichos actuadores es según el perfil de humedad que este generando el sensor de humedad en dichas zonas, si se tiene el control en cascada. Este sistema está compuesto por: La regadera de vapor; Unidad de Control de Vapor (SCU, por sus siglas en inglés); módulos de control IDP y CDWeb manager (ver Figura 2.10). A continuación, mencionaremos cual es la función de cada uno de ellos.

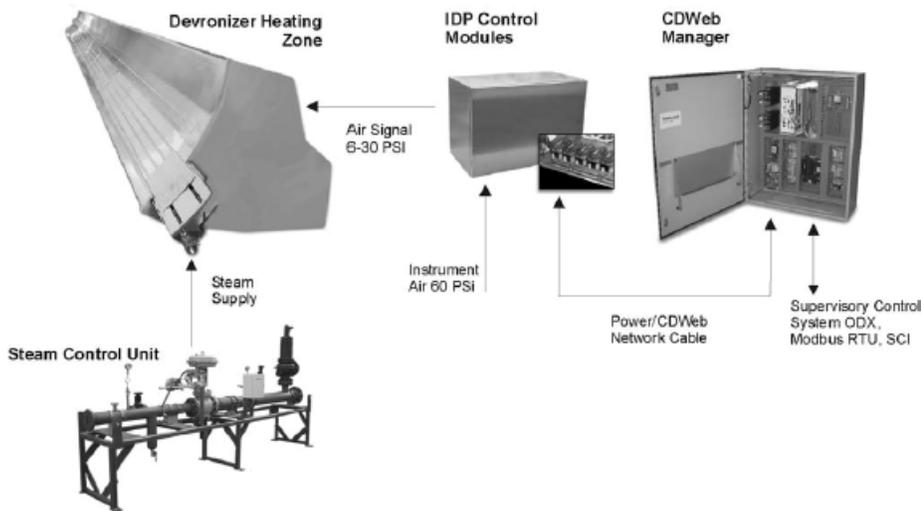


Figura 2.10. Control transversal (CD)

La regadera de vapor

Es un sistema de ducha de vapor diseñada con zonas de control individuales en la dirección transversal de máquina (CD). La regadera se usa en todas las calidades de papel y se aplico en nuestra máquina, en

la prensa.

Principio de operación. La regadera de vapor representa el nivel más alto de logros tecnológicos basado en el principio de transferencia de energía (calor) a través de la condensación de vapor [Honeywell., 2007]. El vapor de condensación rápidamente transfiere su calor latente a la humedad dentro de la banda húmeda de fibra. Por ejemplo, a la presión atmosférica, el vapor a $100C$ ($212F$) libera instantáneamente 2256 kJ/kg (971 BTU/lb) de calor latente en la hoja. Un kg de vapor elevará la temperatura de 100 kg de la banda húmeda aproximadamente 5.5 C (1 lb de vapor elevará la temperatura de 100 lb de la banda húmeda aproximadamente 10 F).

La regadera de vapor acelera el secado y mejora la consolidación y el funcionamiento de la hoja. El resultado final es un perfil de humedad más uniforme en el reel. El sistema de regadera de vapor mejora la eliminación de agua en el *nip* de la prensa al reducir la tensión superficial y la viscosidad del agua dentro de la banda de papel y al suavizar las fibras. Cuanto más caliente esté la hoja, mejor será la deshidratación. La regadera de vapor entrega una hoja más caliente y seca a la sección de secado. Efectiva transferencia de calor usando vapor. El vapor se condensa en la hoja en un área aislada debajo de la regadera de vapor. Dado que la transferencia de calor óptima es a través de la condensación, la eficiencia de la Regadera de vapor está directamente relacionada con estos factores:

Unidad de control de vapor. Esta unidad está hecha para acondicionar el vapor a la regadera de vapor. Cuenta con: una válvula de control con un atemperador incorporado y un transmisor de presión para controlar la presión de vapor a la regadera; una válvula de seguridad ajustada en 15 psig para que no rebase la presión de vapor este valor; una válvula de control y un transmisor de temperatura para controlar la temperatura a la regadera; una placa de orificio con un transmisor de presión diferencial para medir el flujo de vapor.

Módulos de control Neumático Distribuido Inteligente (IDP). El sistema de control IDP es la interfaz electro-neumática entre los actuadores de la regadera de vapor y el CD Web Manager [Honeywell., 2006]. El controlador IDP convierte la información del punto de ajuste que se le envía desde el sistema de control de supervisión, a través del administrador de CD Web, a señales de presión neumáticas. Estas señales de presión, transportadas por un tubo dedicado, controlan las posiciones del actuador de la regadera de vapor. Los módulos de control IDP tienen microprocesadores inteligentes que actúan en paralelo y controlan ocho zonas de actuador. Los valores de punto de ajuste recibidos de la CD Web se convierten en puntos de ajuste de presión neumáticos para cada actuador de perfilado XP10. Los módulos IDP monitorean el estado de cada actuador y enviarán los mensajes de alarma a la ventana operativa de QCS si detectan fugas menores o mayores en las líneas neumáticas que conducen a los actuadores.

CD Web Manager. El Administrador de CD Web actúa como la interfaz entre el sistema de control de supervisión y los actuadores a través del bus de comunicaciones [Honeywell., 2006]. El bus de comunicaciones, también conocido como red de operación local (LON), se basa en el estándar LON Works con mensajes personalizados creados específicamente para el control del actuador de CD de Honeywell. Este bus utiliza *transceivers Echelon FT/10A* para permitir comunicaciones de actuador robustas a 78 kbps. Otras funciones de CD Web Manager incluyen la distribución de energía del actuador y el monitoreo del bloqueo del sistema.

Un Sistema de control supervisorio de calidad (QCS) recibe mediciones en papel (por ejemplo, peso, humedad, calibre) de un sistema de escáner y calcula los puntos de ajuste del actuador utilizando una variedad de algoritmos de control. El QCS luego transmite estos puntos de ajuste al sistema del actuador y, a cambio, recibe información sobre el estado y la posición del actuador.

El Administrador de CD Web admite varios protocolos de comunicación diferentes para las comunicaciones con el QCS. El protocolo estándar utilizado con los sistemas de control de CD de rendimiento de Honeywell es un protocolo LON sobre TCP / IP. Este protocolo se convierte a LON FT / 10A por un enrutador en el Administrador de CD Web conocido como i.LON 100.

2.7. Crepado.

El crepado imparte una enorme cantidad de energía mecánica a la hoja que rompe los enlaces de la fibra y arruga la estructura física de la hoja (Figura 2.11). Esta energía da grosor y suavidad [DaSilva, 2012].



Figura 2.11. Estructura de la hoja de papel *tissue*.

El crepado se define como operación consistente en rizar la hoja de papel para aumentar su alargamiento y suavidad. El crepado es lo que distingue el *tissue* de otro papel. En general, el proceso de crepado consiste en despegar la hoja del secador con la cuchilla de crepado para hacer el *tissue* suave, voluminoso y más absorbente.

La influencia al proceso de crepado se puede dividir en tres partes:

- Las propiedades de la hoja de papel
- La adhesión de la hoja de papel en el secador
- Geometría de la cuchilla crepadora

El proceso de crepado comienza cuando el papel se transfiere del fieltro a la superficie del secador a través de la prensa.

La superficie del secador se construye con un acabado muy fino para permitir un contacto íntimo de la hoja y una eficiente transferencia de calor y reducir el desgaste de la cuchilla de crepado. Una banda de fibras húmedas previamente formada es desaguada y secada con un contenido de humedad de aproximadamente el 60% contra la superficie de un secador *Yankee*.

Durante el secado, fuerzas de tensión superficial arrastran las fibras cercanas unas de otras, produciendo conexiones entre las fibras. La mayor parte se deriva de estas conexiones, ya que las fibras de papel estándar ofrecen un pequeño, o ningún, entrelazamiento de las fibras. Después de alcanzar un contenido en seco de aproximadamente 90 a 95%, la hoja adherida es despegada de la superficie del secador rotativo con la ayuda de una cuchilla que produce una arruga (acabado crepado). Esta acción de crepado rompe algunas conexiones de las fibras y hace la hoja más blanda, voluminosa y más absorbente. La suavidad sigue siendo altamente dependiente del contenido en seco de la hoja en la que se realiza el crepado, y mejora, aumentando el contenido en seco. Los aditivos (agente de adhesión, de despegue y agua) son rociados sobre la superficie del secador antes de su paso por el rodillo prensa. Se rocían para controlar el nivel de adhesión entre la hoja de papel y la superficie del secador. La hoja, entonces, acompaña el secador y es despegada por la cuchilla crepadora.

La acción de crepado ocurre cuando la hoja choca con la cuchilla crepadora. Cuando esto ocurre, el papel se hincha y tuerce, cerca del punto donde la cuchilla entra en contacto con la superficie del secador. Los pequeños pliegues formados cuando la hoja es despegada del secador son llamadas micro dobleces.

2.7.1. Yankee spray (*Chilling Shower*)

La capa o revestimiento (*coating*) se empieza a formarse cuando el agua se evapora del papel a medida que entra en contacto con la superficie del secador debido a los compuestos orgánicos e inorgánicos solubles que se depositan en la superficie junto con las partículas de fibras de la hoja. El revestimiento inorgánico proporciona un soporte esquelético para captar orgánicos. Pueden obtenerse un revestimiento en el *Yankee* más grueso, uniforme y flexible, al mejorar la retención de cargas, partículas de fibras y resina de resistencia en la parte húmeda. El revestimiento es importante para la remoción de la hoja de la superficie del *Yankee* por medio de la hoja de crepado.

Debido a la importancia del revestimiento (*coating*), es importante que este revestimiento sea producido y controlado como una variable de proceso. Un revestimiento uniforme y flexible produce un crepado más uniforme y lubrica la hoja de crepado a medida que se quita la hoja de la superficie del secador *Yankee*, bajando su coeficiente de fricción y disminuyendo el desgaste de la cuchilla y del secador.

Un recubrimiento controlado del *Yankee* mejorará la calidad de la hoja y reducirá la frecuencia de los intercambios de cuchillas. Un buen revestimiento puede resultar en un perfil de humedad más uniforme, lo que puede, por lo tanto, aumentar la velocidad de la máquina. La calidad de enrollamiento uniforme es decisiva para las operaciones de conversión.

Muchos auxiliares de desprendimiento continuo actúan también como eliminadores de espuma en la máquina, de tal forma que la adición en la parte húmeda también puede dar características de suavidad y absorción. Muchos de los productos químicos utilizados en la parte húmeda, que no son adhesivos o químicos de liberación, tienen efectos significativos sobre el crepado tales como, por ejemplo, las resinas de resistencia en húmedo que aumentan la adherencia de la hoja al yankee.

Sin embargo, para evitar perturbaciones en la química de la parte húmeda y utilizar menos productos químicos, también pueden ser rociados sobre la hoja exactamente antes del rodillo de presión o directamente en el secador *Yankee* lo que, se alega producir una cobertura más uniforme. Sin embargo, en caso de no estar diseñados adecuadamente, las duchas son difíciles de controlar y pueden dar malos resultados. Un perfil de temperatura bueno y consistente en dirección longitudinal y transversal a la máquina es crucial para desarrollar un recubrimiento uniforme, y de esta manera lograr un crepado consistente y uniforme.

Una buena operación del sistema del *Yankee* presenta variaciones máximas de temperatura de:

- $\Delta T < 2C$ en dirección longitudinal.
- $\Delta T < 4$ a $5C$ en dirección transversal.

Algunos de los químicos usados para el revestimiento del *Yankee* son:

Adhesivo (resina). Los primeros adhesivos fueron componentes naturales de la pulpa, principalmente “pitch” y hemicelulosas. Posteriormente, se descubrió que la adhesión de la hoja puede mejorar añadiendo resinas a la pasta. La mayoría de las resinas comercializadas actualmente son a base de poliamida-epiclorhidrina, las mismas de resistencia en húmedo, aplicadas por medio de un *spray*, junto con el *reléase* y el MAP, sobre la superficie del cilindro *Yankee*. La resina contribuye, por lo tanto, a la adhesión de la hoja al *Yankee*, generando un duro y frágil recubrimiento en la superficie del cilindro. Es especialmente indicado para obtener un *creping* fino y estable, una hoja suave y un perfil regular de humedad. Además de influenciar las fuerzas de adhesión y desprendimiento de la hoja al cilindro, las cuales generan el *creping*, la capa pegajosa (*soft coat*) generada protege la superficie del cilindro secador y las raspaduras del desgaste mecánico.

Reléase. Para controlar el crepado del papel. Este producto es básicamente un aceite (pero, actualmente, existe también a base de agua) que actúa junto con el producto para aumentar la adhesión del papel. Se trata de una mezcla de aceite y polietileno glicol que con el agua forma una emulsión estable. El *reléase* es un agente suavizante y de liberación; ha sido diseñado específicamente para controlar la dureza, el grosor y la adhesión del *coating*. Su adición húmeda suaviza el papel *tissue* y mejora las propiedades de

liberación del *Yankee* por el método de aplicación superficial por *spray*.

Fosfato de amonio monobásico (MAP). Se trata de un producto inorgánico que se dosifica en forma de solución en *spray*, directamente en el fieltro, o en el cilindro *Yankee*, para proteger su superficie del desgaste mecánico. Su fórmula estructural es $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

La aplicación de este producto en conjunto con la resina resulta en un control de crepado correcto permitiendo, con esto, obtener algunas ventajas tales como: evitar el desgaste prematuro del cilindro *Yankee* (crepador), reducción del desgaste de las láminas de crepado y, consecuentemente, aumento de la eficiencia. Normalmente, es en forma de emulsión a 0,4% v/v y aplicado en el *spray* (*chilling shower*) del secador. En la figura 2.12, un ejemplo de aplicación de esta ducha.

El llamado *coating* ideal deberá ser constituido normalmente por tres capas: una capa dura (*hard coat*), predominando el MAP, con la función de proteger la superficie del secador; una capa pegajosa (*soft coat*), predominando la resina, con la función de adherir el papel al secador; y una capa suave, predominando el *reléase*, que permite que la hoja se desprenda del secador.

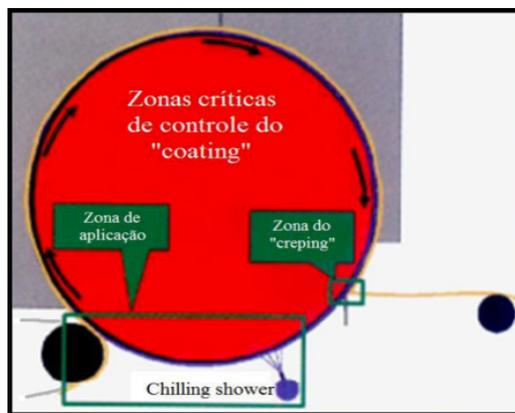


Figura 2.12. Zonas de control del *coating*

2.8. Enrollado.

En esta etapa la hoja que viene del *Yankee* es guiada por el acarreador de hoja y enrollada en un “mandril” (rodillo usado como el núcleo del rollo) hasta que complete la longitud deseada en kilómetros de papel, en ese momento se ha completado un rollo duro de 530 centímetros de ancho y un peso de 5 a 10 toneladas de peso. Posteriormente se ejecuta la operación cambio de rollo, instalando un nuevo mandril, esta etapa es la final de la máquina de papel y ahí se recogen los rollos duros y son enviados a la bobinadora, mediante la grúa, para continuar con otro proceso. Los componentes de esta etapa son:

Acarreador de hoja. Este equipo se encarga de llevar la hoja desde el *Yankee* al tambor del enrollador, por medio de equipo neumático.

Estabilizador. Este equipo le quita fluctuaciones que tiene la hoja debido al crepado y de este modo llega al tambor del enrollador más estable y sin fluctuaciones repentinas, el accionamiento de este equipo es por medio de controles neumáticos.

Tambor del enrollador (*Reel*). Este es un cilindro hueco movido por un motor con velocidad variable y se encarga de mantener la velocidad del rollo que se está formando. Las velocidades del *Yankee* y del *reel* deben mantener una relación constante y es conocida como la relación de crepado.

Estación de frenado. Cuando la bobina contiene el kilometraje de papel deseado es sacada del contacto con el *reel* por medio de los brazos secundarios y es enviada a la estación de frenado que tiene equipo para frenar la velocidad lineal y angular del rollo, este equipo es *shock absorber* formado por un cilindro

hidráulico y unas balatas que son accionadas por un equipo neumático.

Expulsores de rollos (bobinas). Después de ser frenado el rollo es expulsado hasta el final del riel donde es recogido por una grúa que lo lleva a otras etapas de producción. El equipo usado es neumático.

Alimentador de mandriles. Cuando los rollos duros son procesados y convertidos a rollos con hoja doble, el “mandril” es extraído y regresado para volverse alimentar como el núcleo de un nuevo rollo en formación.

Brazos de carga. Recogen los mandriles y los depositan en los brazos primarios, estos son movidos por un motor eléctrico y controlado su movimiento por sensores de posición.

Brazos primarios. Se encargan de depositar el mandril en el tambor del enrollador que esta en movimiento. El movimiento de los brazos primarios es controlado por un motor eléctrico y sus tenazas son movidas por cilindros neumáticos.

Brazos secundarios. Se encargan de sacar el rollo duro y recibir el mandril para volver a bobinar un nuevo rollo, también ejerce una presión proporcional al tamaño del rollo.

2.9. Control.

Se encarga de controlar toda la máquina y en forma general mencionaremos como esta formada (ver Figura 2.13): Gabinete del **HPM** donde llegan todas las entradas de campo y salen a campo todas las señales, además aquí se encuentran todas las estrategias de control regulatorio, lógico y secuencial, además tiene una interface de comunicación con la red **UCN** para comunicarse con otros gabinetes y con la red **LCN** a través del módulo **NIM**.

El módulo **NIM**, es la interface de comunicación entre la red **UCN** y la red **LCN** y por ahí pasan todos los datos generados en campo o que van a campo, esta formada por su tarjeta de comunicación con la red **UCN** y **LCN** y la tarjeta procesadora.

En la red **LCN** están comunicados todos los módulos, entre ellos las estaciones de operación (**US**) las cuales son las ventanas al proceso para la operación de la máquina y también desde ahí pueden cargar los demás módulos. Esta compuesta por la tarjeta de comunicación con la red **LCN**, la tarjeta procesadora, la tarjeta de comunicación con los periféricos, monitor, teclado, toque en pantalla y alarmas audibles.

También esta comunicada la estación **GUS**, la cual mediante el software y hardware llamado ventana nativa, trabaja en Microsoft Windows NT, esto hace que la información de toda la planta sea fácilmente accesible para que los usuarios tengan la información de negocios y control que necesitan para hacer mejores productos y aumentar las ganancias, además desde esta estación podemos cargar todos los módulos del sistema, esto sucede cuando perdemos la alimentación eléctrica en planta.

El módulo **HM**, esta compuesto por la tarjeta de comunicación a la red **LCN**, la tarjeta procesadora, tarjeta de comunicación con los discos duros y los discos duros. En este módulo se encuentra todo el software necesario para cargar las diferentes personalidades y además toda la historia que haya sido configurada para nuestro proceso (valores de entrada, salida, mensajes al operador, alarmas, etc.).

El módulo **APP** se encarga de llevar los valores de las variables que obtiene el escáner (peso base, humedad, ancho de hoja, temperatura de hoja, etc.) y envía al **QCS** los valores de las variables obtenidos por el **HPM** (flujos de pasta, consistencias, temperaturas de campana, presión de vapor en Yankee, velocidad del *Yankee*, velocidad del *reel*, etc). Esta conectado a la ethernet y a la red **LCN**.

La estación de operación Expirion **MX** únicamente esta conectada a la ethernet y es la usada por el conductor para control de peso base, humedad y perfil. El servidor esta conectado a la red de ethernet y está todo el software del sistema **QCS**.

También están conectados a la ethernet los todos los sensores del escáner, por medio de la tarjeta **EDAQ** y la regadera de vapor se conecta a ethernet por medio de los módulos **IDP**.

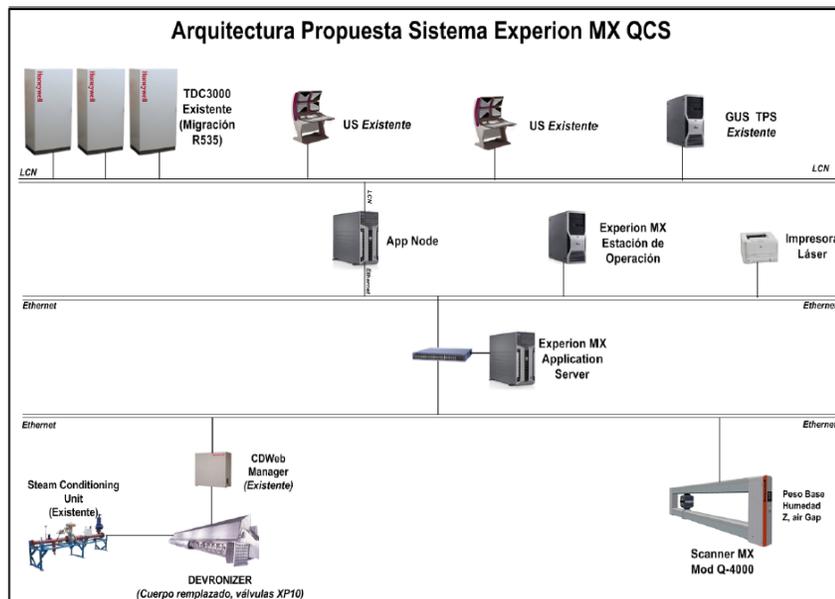


Figura 2.13. Red de control de máquina tissue

A continuación mencionaremos cada uno de los componentes de la red de control de la máquina de papel.

El HPM. Es el administrador de procesos de alto rendimiento está diseñado para proporcionar capacidades de control y escaneo de procesos flexibles y potentes. Para ello, utiliza una arquitectura multiprocesador avanzada con microprocesadores separados dedicados a realizar tareas específicas [Honeywell.,]. Como se muestra en la Figura 2.14, el HPM consta del Módulo Administrador de Procesos de Alto Rendimiento, por sus siglas (**HPMM**) y el Subsistema de I/O.

El módulo de gestión de procesos de alto rendimiento consta de un procesador de control y comunicación dual de alto rendimiento 68040, un procesador de interfaz de *link* de I/O y una interfaz UCN.

El procesador de comunicaciones está optimizado para proporcionar comunicaciones de red de alto rendimiento, manejando funciones como el acceso a datos de la red y las comunicaciones de igual a igual. También es compatible con el fechado de tiempo de alta precisión.

El procesador de control es el recurso HPM dedicado a ejecutar funciones de regulación, lógica y secuencia, que incluye una excelente facilidad de programación para el usuario. Debido a que la comunicación y el procesamiento de I/O se realizan mediante *hardware* dedicado separado, la potencia total del Procesador de control de alto rendimiento se puede aplicar a la implementación de la estrategia de control.

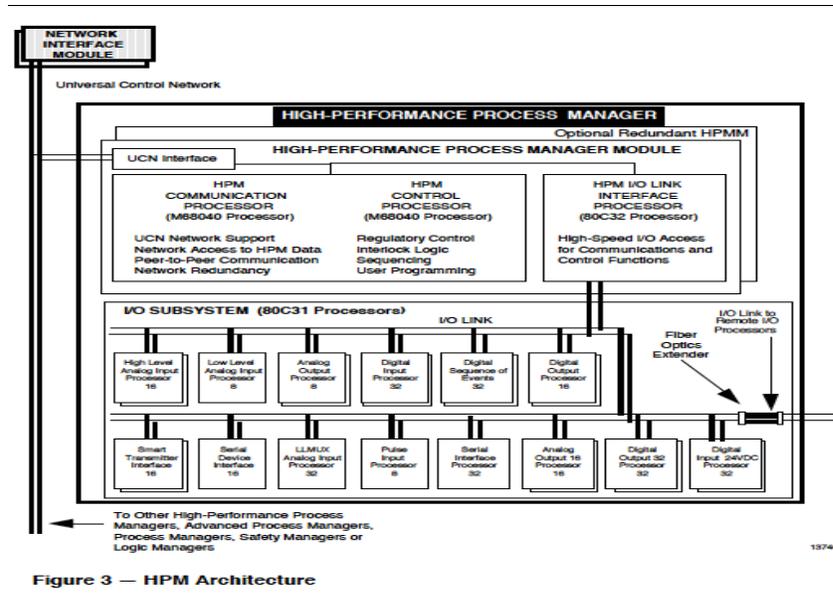


Figura 2.14. Diagrama gabinete HPM.

El procesador de interfaz I/O link es la interfaz HPMM para su sub sistema de I/O. Estos procesadores de I/O manejan todas las I/O de campo para las funciones de adquisición y control de datos. Los Procesadores de I/O proporcionan funciones como la conversión de unidades de ingeniería y la verificación de límites de alarma, independientemente del módulo del administrador de procesos de alto rendimiento. Esta arquitectura proporciona un rendimiento seguro y determinista del procesador de control.

Universal Control Network.

El canal de comunicaciones para el administrador de procesos de alto rendimiento, es una red de área local llamada *Universal Control Network* (UCN). Presentado a los usuarios de TDC 3000X en 1988, el UCN es la ruta segura para las conexiones de proceso de I/O al sistema (ahora conocido como solución *TotalPlant* (TPS) [Honeywell., 1996].

El UCN cuenta con un sistema de comunicación de banda portadora de 5 megabits por segundo con una red *token bus*. Está diseñado para ser compatible con las normas IEEE e ISO. La UCN utiliza cables coaxiales redundantes y puede admitir hasta 32 dispositivos redundantes.

Network Interface Module

El módulo de interfaz de red, (NIM) proporciona el enlace entre la red de procesos LCN y la red de control universal. En consecuencia, hace la transición de la técnica de transmisión y el protocolo de la red de procesos LCN a la técnica de transmisión y el protocolo de la UCN. El NIM proporciona acceso de módulo LCN a datos de dispositivos residentes en UCN. Es compatible con las cargas de programas y bases de datos al administrador de procesos de alto rendimiento y reenvía alarmas y mensajes de los dispositivos de red a la LCN. El NIM también está disponible en una configuración redundante para proporcionar una operación continua y automática en caso de una falla primaria.

La hora LCN y la hora UCN están sincronizadas por el NIM. El NIM transmite el tiempo de LCN a través de la UCN. El HPM lo utiliza para una serie de funciones de tiempo determinado, como la secuencia de informes de eventos.

Local Control Network.

La red de control local (LCN), es una red de área local a través de la cual los módulos TDC 3000 se comunican entre sí. Se pueden vincular múltiples LCN a través de las puertas de enlace de red. Dos cables coaxiales proporcionan el medio principal que conecta cada módulo que reside en una red de control local. Los enlaces de comunicación de fibra óptica opcionales se pueden utilizar para unir segmentos LCN o para conectar estaciones universales remotas a la LCN. La red de control local transporta toda la información que se transfiere entre los módulos, incluida la información que va hacia o desde el módulo, e información que va hacia o desde los subsistemas de proceso integrados en el sistema TDC 3000.

Funciones.

- Transporta toda la información transferida entre los módulos de la red.
- Asegura el intercambio oportuno de información a través de un protocolo eficiente y una comunicación de alta velocidad.
- Proporciona comunicación altamente segura a través de cables activos y de respaldo, y verificación de integridad de mensajes.

Universal Station . Es la interfaz humana principal en el sistema, la Estación Universal. Es uno de los módulos de la red de control local (LCN). Como lo indica la Figura 2.15, la Estación Universal se comunica con otros módulos en su propia LCN a través de la pasarela de red, con dispositivos conectados al proceso en redes de control universal a través del módulo de interfaz de la red.

La estación universal, que se muestra unida a una mesa periférica proporciona instalaciones completas para el operador de procesos, el ingeniero de procesos y el técnico de mantenimiento al proporcionarles una ventana universal para el proceso y el sistema, de modo que cada función en particular pueda realizarse. Al tener disponibles las funciones de operación, ingeniería y mantenimiento desde una ventana universal, la Estación Universal es capaz de satisfacer las necesidades de los tres usuarios principales:

- Para el operador del proceso, *Universal Station* proporciona una ventana universal para monitorear y manipular el proceso y el sistema en tiempo real, y para recuperar datos históricos.
- Para el ingeniero de procesos, *Universal Station* ofrece una ventana universal para configurar la base de datos del sistema, crear pantallas gráficas y preparar programas de lenguaje de control (CL).
- Para el técnico de mantenimiento, *Universal Station* ofrece una ventana universal para monitorear el rendimiento del sistema y diagnosticar fallas del sistema.

Las estaciones universales y los dispositivos periféricos asociados se pueden agrupar para formar una consola de operador integrada. La consola proporciona una estación de trabajo cómoda y amigable que asegura la máxima eficiencia y la mínima fatiga del usuario. Independientemente de la cantidad de estaciones universales en una consola de operador y la combinación de opciones elegidas, los procedimientos operativos para el sistema siguen siendo los mismos.



Figura 2.15. Estación Universal

Capítulo 3

Análisis y metodología empleada

Para lograr el objetivo de instalación, configuración, arranque y puesta en marcha del sistema DCS, tuvimos que realizar las siguientes actividades:

- Elaboración de diagramas de ingeniería.
- Instalación de tubería y cableado para todos los lazos de control.
- Acondicionar los cuartos de control (piso falso, aire acondicionado).
- Instalación de gabinetes y módulos del DCS.
- Carga y configuración del sistema.
- Configuración de las estrategias de control para la máquina.
- Comisionamiento de señales.
- Capacitación al personal operativo.
- Pasar los controles antiguos al DCS de manera paulatina.

A continuación mencionaremos la implementación de los controles necesarios en cada una de las etapas de la máquina de papel, estas estrategias las generamos en base al conocimiento que teníamos de la operación de la máquina.

3.1. Análisis de pulpeo

En esta etapa se trabaja por lotes que se preparan en cada pulper, la variable importante a controlar en esta etapa es la consistencia y el desfibrado. Para esta etapa se elaboró un programa el cual se fundamenta en las operaciones que ya venía realizando el operador de manera manual, la ventaja de esta implementación es que el sistema ayuda a realizar algunas operaciones de manera automática las descargas a los tanques sin tener que derramarlos y supervisión de la operación de esta etapa mediante la historización y habilitación de mensajes y alarmas al operador. De manera manual el operador realiza funciones que dependen del criterio y experiencia del operador. Dicho programa empieza con:

- El ajuste de todos los datos a los valores iniciales.
- Posteriormente se arranca el agitador del pulper y se agrega agua de dilución necesaria para tener la consistencia que requiere el pulper para la desintegración de la fibra de manera eficiente.
- Se descargan las pacas a desfibrar agregando el dato de su peso total, con este dato y el dato del volumen de agua al pulir obtenemos la consistencia de desfibrado en el pulper, esta puede ser de 6 a 12 % de consistencia.
- Arrancamos el *timmer* para contabilizar el tiempo de desfibrado.
- Una vez terminado el tiempo de desfibrado y mediante muestreo revisar que el desfibrado se realizó correctamente, se descarga el lote, seleccionando el tanque al cual descargamos y arrancando la bomba de descarga.

- Se agrega agua de dilución necesaria para obtener la consistencia de 4% en los tanques de almacenamiento de fibra.

Ejemplo: la consistencia es por definición:

$$C = \frac{F}{W} \quad (3.1)$$

Donde C= Consistencia; W= Peso total; F= Peso de la paca.

$$W = F + V \quad (3.2)$$

Donde V= Volumen agua, consideramos que 1 lt pesa 1 kg, sustituyendo 3.2 en 3.1 tenemos:

$$C = \frac{F}{(F + V)} \quad (3.3)$$

Despejando la ecuación 3.3 para obtener el volumen de agua, tenemos.

$$V = \frac{F(100 - C)}{C} \quad (3.4)$$

Debemos implementar la anterior ecuación en el DCS y suponiendo que queremos tener una consistencia **C = 6%** y pesando la paca obtenemos las toneladas de fibra **F = 1000 Kg**, entonces el sistema resuelve la ecuación 3.4 y obtenemos que necesitamos **V = 15667 litros** de agua en ese lote y lo agregamos midiendo con un medidor magnético el flujo de agua de dilución a dicho pulper.

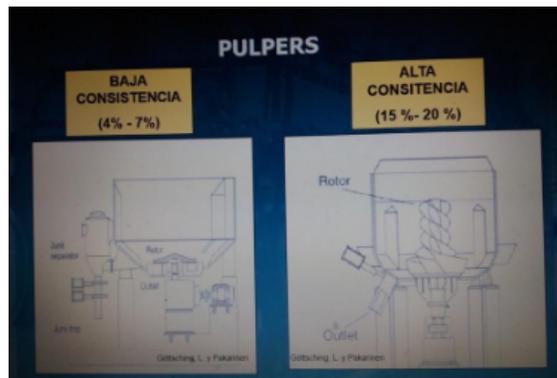


Figura 3.1. Tipos de pulpers.

3.2. Controles en preparación de pastas

3.2.1. Despastillado

Para esta etapa tenemos el monitoreo de las variables, la historización y las alarmas.

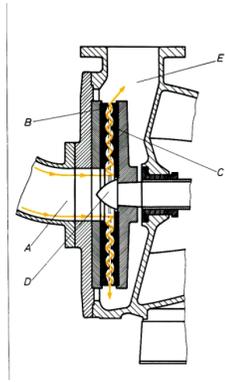


Figura 3.2. Internos del Despastillador.

Características de los despastilladores:

- Velocidad de rotación: 1000-3900 rpm.
- Velocidad tangencial: 25-40 m / s.
- Separación entre rotor y estator: ≈ 1 mm.
- Consistencia de trabajo: 3-6 %.
- Presión entrada: 0.5-1.0 bar.
- H: 2-3 metros columna de agua.
- Consumo de energía específica: 14-70 kWh/t (depende del % de pastillas).

Para control de este equipo tenemos un transmisor de presión diferencial, entre salida/entrada, dicha presión diferencial debe ser positiva, de lo contrario nos estaría marcando algún problema. También tenemos un control de flujo de recirculación, el cual es de 10 al 15 % del flujo total en el despastillador.

3.2.2. Refinado

Para implementar el control se tomo en cuenta la secuencia de operación, la estrategia de control y la descripción lógica del refinador, que a continuación se mencionan, ver listado de puntos configurados en el DCS y para refinación ver Figura 3.3

3.2.2.1. Secuencia de operación del sistema de refinación

Arranque motor principal del refinador, condiciones previas:

- Ajustar válvula de 4 vías en Bypass $02ZSF351 = ON$ y $02ZSD351 = OFF$
- Abrir válvula de drenaje manualmente.
- Abrir válvula agua de limpieza manualmente.
- Abrir válvula agua de sellos y verificar presión sea 45 psig $02PSL351 = OFF$.
- Abrir los discos del refinador al máximo $02ZSO352 = ON$.
- En tablero local selector $02HS351 = Local$.
- En tablero local Pulse $02PBA351 = ON$ arranque del motor del refinador.

Arranque motor de bomba alimentación de pasta. Condiciones previas:

- Motor principal del refinador *02MRD351*= *ARRANQUE*
- Cierre válvulas de control *02FV239* al 70% y *02FV206* al 30% en MANUAL.
- Cierre la válvula de drenaje manualmente.
- Cierre válvula agua de limpieza manualmente.
- Ajuste el SP del control de presión de pasta *02PIC432* = 30 psig en AUTO.
- Ajuste SP del control de consistencia de pasta *02CIC304* = 4.24 % en AUTO.
- Arranque motor bomba de pasta *02MBP038*
- Ajustar válvula 4 vías en operación *02ZSF351*= *OFF* y *02ZSD351*= *ON*, con esto se habilitan todas las protecciones de presión y flujo.

Cerrar discos del refinador en tablero local, condiciones previas:

- Ajuste el control de flujo de recirculación *02FIC239* en modo CAS
- Ajuste el valor de *02FX_239*= 4163 LPM
- Presión de pasta a la entrada del refinador $15 < 02PI_432 < 90$ psig.
- Presión de pasta a la salida del refinador $02PI_433 < 90$ psig.
- Flujo de pasta en el refinador $02FY_239 > 500$ LPM
- Potencia actual del motor del refinador $02JI_351 < 750$ HP.
- Ajuste selector de accionamiento de discos *02HSF352*= RÁPIDO.
- Pulse *02PBC352*= *ON* para cerrar discos hasta incrementar la corriente.
- Ajuste *02HSS352*= LENTO, pulse el botón *02PBC352*= *ON* hasta alcanzar la corriente de carga de operación.
- Ajuste el selector *02HSR351* en REMOTO y diríjase a la cabina de operación.

Poner control de potencia específica (HP/Ton) en AUTO.

- Ajuste selector velocidad de discos *02HS_352*= LENTO.
- Ajustar SP de potencia específica *02JIC605* el valor deseado.
- Poner control de potencia específico *02JIC605* en AUTO.

Paro del sistema de refinación

- Parar motor de bomba de alimentación *02MBP038* = PARO.
- Abrir válvula de drenaje manualmente.
- Abrir válvula de agua de limpieza del refinador manualmente.
- Cerrar válvula de agua de sellos.

3.2.2.2. Listado de puntos configurados en el DCS**Entradas digitales**

02PBA351	<i>PUSH BUTTON</i> ARRANQUE DEL REFINADOR DD 6000
02PBP351	<i>PUSH BUTTON</i> PARO DEL REFINADOR DD 6000
02PBC352	<i>SWITCH</i> SELECTOR DISCOS DEL REFINADOR CERRAR
02PBA352	<i>SWITCH</i> SELECTOR DISCOS DEL REFINADOR ABRIR
02HSL351	<i>SWITCH</i> SELECTOR CONTROL REFINADOR LOCAL
02HSR351	<i>SWITCH</i> SELECTOR CONTROL REFINADOR EN DCS
02HSF352	<i>SWITCH</i> SELECTOR DISCOS DEL REFINADOR RÁPIDO
02HSS352	<i>SWITCH</i> SELECTOR DISCOS DEL REFINADOR LENTO
02ZSO352	SENSOR DE POSICIÓN DISCOS ABIERTOS AL MÁXIMO
02ZSC352	SENSOR POSICIÓN DISCOS CERRADOS AL MÁXIMO
02ZSD351	SENSOR DE POSICIÓN REFINADOR DENTRO
02ZSF351	SENSOR DE POSICIÓN REFINADOR CON <i>BYPASS</i>
02PSL351	<i>SWITCH</i> DE BAJA PRESIÓN AGUA SELLOS AL REFINADOR
02M351DI	RETRO MOTOR REFINADOR DE DISCOS
02M352DI	RETRO MOTOR DISCOS DEL REFINADOR
02PBE351	PARO DE EMERGENCIA REFINADOR

Salidas digitales (DO)

02PLA351	SALIDA LUZ PILOTO INDICADOR ARRANQUE DEL REFINADOR
02PLP351	SALIDA LUZ PILOTO INDICADOR PARO DEL REFINADOR
02PLC352	SALIDA LUZ PILOTO INDICADOR CERRAR DISCOS DEL REFINADOR
02PLO352	SALIDA LUZ PILOTO INDICADOR ABRIR DISCOS DEL REFINADOR
02ALM351	SALIDA PARA ALARMAR CONDICIÓN ANORMAL EN REFINADOR
02M352AD	ABRIR DISCOS DEL REFINADOR
02M352CD	CERRAR DISCOS DEL REFINADOR
02M352RA	RÁPIDO DISCOS DEL REFINADOR
02M352LE	LENTO DISCOS DEL REFINADOR

Entradas analógicas (AI)

02JT_351	CORRIENTE EN MOTOR DEL REFINADOR (CARGA)
02PT_432	PRESIÓN PASTA ENTRADA AL REFINADOR
02PT_433	PRESIÓN PASTA SALIDA DEL REFINADOR
02PT_434	PRESIÓN AGUA DE SELLOS AL PRENSA ESTOPAS
02FT_239	FLUJO DE PASTA DE RECIRCULACIÓN DEL REFINADOR
02TT_511	TEMPERATURA PASTA EN REFINADOR

Salidas analógicas

02FV_239	VÁLVULA CONTROL RECIRCULACIÓN DE PASTA
02PZ_432	REFERENCIA VELOCIDAD AL <i>DRIVE</i> BBA PASTA

Regulatorios de control

02CIC304	CONTROL DE CONSISTENCIA PULPA AL REFINADOR
02FIC239	CONTROL FLUJO DE RECIRCULACIÓN
02FIC206	CONTROL FLUJO PASTA REFINADA AL TQ. MEZCLA
02PIC432	CONTROL DE PRESIÓN PASTA ENTRADA AL REFINADOR
02JIC605	CONTROL ENERGÍA ESPECIFICA APLICADA A LA PASTA

Indicadores

- 02JL.351 INDICADOR DE POTENCIA MOTOR DEL REFINADOR
- 02PI.432 INDICADOR DE PRESIÓN PASTA A LA ENTRADA AL REFINADOR
- 02PI.433 INDICADOR DE PRESIÓN PASTA A LA SALIDA DEL REFINADOR
- 02PI.434 INDICADOR DE PRESIÓN AGUA DE SELLOS AL PRENSA ESTOPAS
- 02TL.511 INDICADOR DE TEMPERATURA DE LA PASTA EN REFINADOR

Digitales compuestas

- 02MRD351 MOTOR DEL REFINADOR DE DISCOS
- 02MDR352 MOTOR DISCOS DEL REFINADOR
- 02HS.352 AJUSTE VELOCIDAD DE DISCOS DEL REFINADOR
- 02MBP038 MOTOR DE BOMBA ALIMENTACIÓN PASTA AL REFINADOR
- 02PB.351 *RESET* ALARMAS DEL REFINADOR

Lógicos

- 02INT109 *INTERLOCK* PARA ACCIONAMIENTO DEL REFINADOR
- 02INT110 *INTERLOCK* PARA CONTROL DE POTENCIA DEL REFINADOR
- 02INT120 *INTERLOCK* PARA ACCIONAMIENTO DISCOS DEL REFINADOR

Calculadoras

- 02JY.605 CALCULO ENERGÍA ESPECIFICA APLICADA A LA PASTA
- 02IL.605 CALCULO DE CORRIENTE CARGA DEL REFINADOR
- 02FY.239 CALCULO FLUJO RECIRCULACIÓN DEL REFINADOR

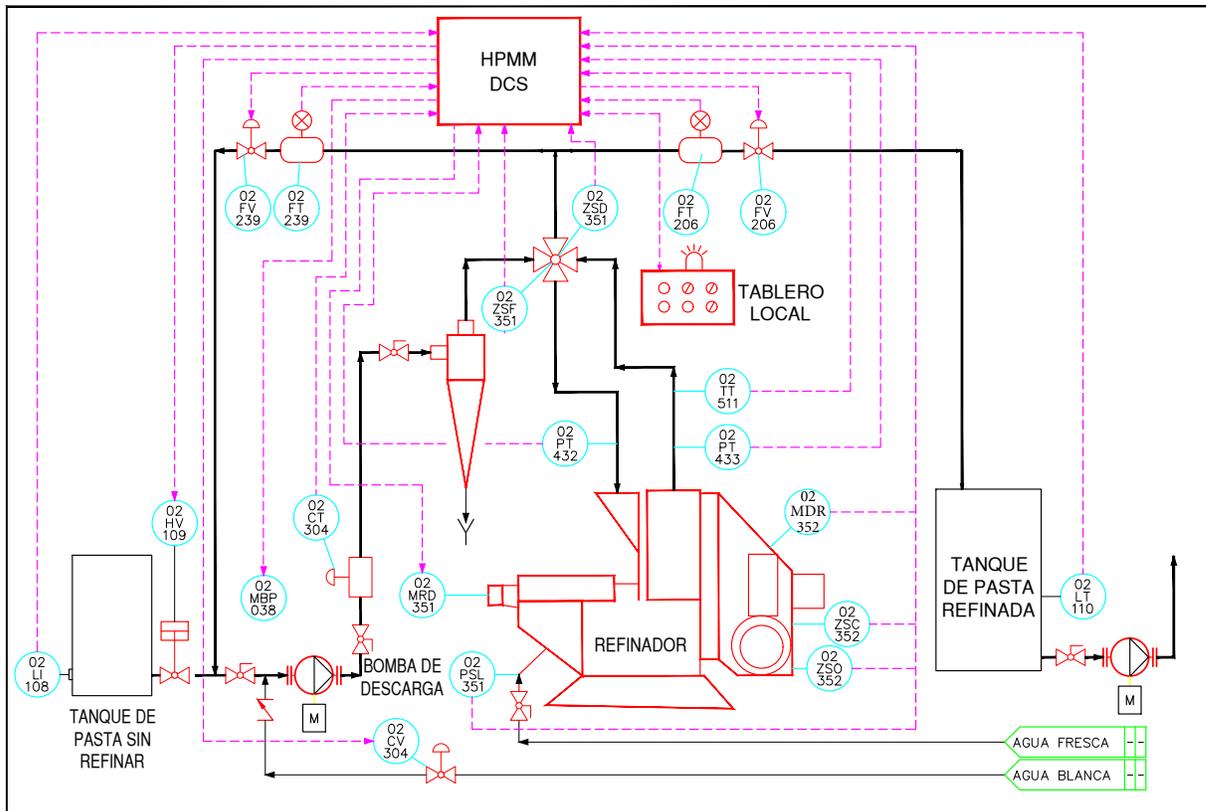


Figura 3.3. DTI Refinación

3.2.2.3. Estrategia de control del refinador

Control de energía específica neta (Nhp_d/t). Esto proporcionará un refinado constante a medida que la demanda del proceso varíe y el % de consistencia puede fluctuar (ver Figuras 3.5)

Método de control. Sobre la base de una tasa de producción (t/d), un punto de ajuste de energía específica neta (h_{pd}/t) más la potencia de no carga (h_p), se calcula el punto de ajuste de carga bruta del motor (h_p). La potencia del motor principal (h_p) se controla ajustando el claro entre las placas del rotor y el estátor por medio del motor de engranaje de velocidad variable.

Velocidades del motor de engranajes. La acción del control en respuesta a variaciones del proceso (Flujo y consistencia) y los cambios del SP de energía (h_{pd}/t) deben ser ejecutados con la velocidad LENTA de dicho motor. La carga inicial del refinador (al cerrar los discos) y descarga del refinador (al abrir los discos) debe ser hecha con la velocidad RÁPIDA del motor mencionado.

Algoritmo de control de energía:

- Tasa de producción (t/d) = Flujo (LPM)*Consistencia (%)*0.0114
- Energía específica (h_{pd}/t) = Potencia de refinación neta (hp)/tasa de producción (t/d).
- Potencia de refinación neta (hp) = tasa de producción (t/d)*Energía específica (h_{pd}/t).
- Potencia bruta del motor (hp) = Potencia neta (hp) + Potencia de no carga (h_p).
- Potencia de no carga teórica = 217 hp.

Condiciones específicas (ejemplo)

- Flujo al proceso = 1285 LPM
- Consistencia actual = 4.5 %

- Relación Potencia refinado vs. taza Producción (SP) = 5.03 *HP/Ton*
- Taza de Producción *Ton/Día*: Flujo (LPM)*Consistencia (%)*0.01438 1285 (LPM)*4,5(%)*0.01438 = **83.15 *Ton/Día***
- Potencia neta refinado: 83.15 (*Ton/Día*)*5.03(*Hp*Día/Ton*)=**418.24 *HP***
- Relación potencia refinado vs. Taza producción (PV) 418.24 (HP)/ 83.15 (*Ton/Día*) = **5.03 *HP/-Ton***
- Potencia total del motor Potencia neta (*HP*) + Potencia no carga (*HP*) 418.24 (*Hp*) + 217 (*Hp*) = **635.24 *HP***

3.2.2.4. Descripción lógica del refinador

El motor de engranajes ajusta la distancia entre los discos del refinador basándose en una comparación entre un $SP = HP/ton$ y un $PV = HP/ton$ real en el motor principal del refinador. A continuación, se mencionan los enclavamientos del motor de engranajes y cálculos específicos de puntos de consigna de energía.

Enclavamientos del sistema de refinación

Condiciones para arranque del motor del refinador

- a. Presión agua de sellos 02PSL351= OFF (02PI_432 +15 *psig*).
- b. Que los discos del refinador estén totalmente abiertos 02ZSO352= ON
- c. Válvula de 4 vías este en la posición de bypass al refinador 02ZSF351= ON
- d. Selector 02HSL351= LOCAL y pulsar botón de arranque 02PBA351= ON

Con alguna de las condiciones se para el motor del refinador

- a. Alta-Alta presión entrada del refinador, 02PI_432 > 100 *psi*.
- b. Alta-Alta presión en salida del refinador, 02PI_433 > 100 *psi*.
- c. Alta-Alta temperatura en refinador, 02TI_511 > 90 *C*
- d. Baja presión agua de sellos 02PSL351= OFF y 02ZSO352= ON.
- e. Alta-Alta corriente en motor del refinador, 02II_351 > 794 *amperes*.
- f. Pulsar botón paro de emergencia 02PBE351.
- g. Selector 02HSL351= LOCAL y pulsar botón de paro 02PBP351= ON.

Con alguna de las siguientes condiciones se abren los discos rápido

- a. Baja presión pasta a la entrada del refinador 02PI_432 < 15 *psi*.
- b. Baja presión agua de sellos, 02PSL351= OFF (< 15 *psi*).
- c. Alta presión de pasta a la entrada del refinador, 02PI_432 > 90 *psi*.
- d. Alta presión de pasta a la salida del refinador, 02PI_433 > 90 *psi*.
- e. Bajo flujo de pasta a la entrada del refinador, 02FY_239 < 500 *LPM*.
- f. Sobrecarga en motor del refinador, 02II_351 > 690 *amperes*.



Figura 3.4. Grupo operativo control energía en refinador



Figura 3.5. Grupo operativo control flujo en refinador

3.2.3. Depuración

3.2.3.1. Cribas presurizadas

Para controlar este equipo se instala un medidor de flujo de pasta en los aceptados y otro en los rechazos y este se pone su SP en CAS con el aceptado y con un RATIO el cual el operador pueda ajustar de 0.01 a 1, esto hace que la purga sea continua.

En las cribas presurizadas instaladas antes de la caja de entrada, se supervisa con transmisores de presión a la entrada de pasta y a la salida de los aceptados, con esto podemos ver cuando la criba se empieza a tapar. También se tiene una indicación de la carga del motor que mueve la regletas internas y también esta variable nos indica cuando empezamos a tener problemas en la criba.

También se puede instalar una cámara en la descarga de los rechazos con dos válvulas *ON-OFF* y sensores de posición que detecten si las válvulas están abiertas o cerradas. Estos rechazos en la cámara se pueden descargar cada 5 minutos, en este caso la purga de rechazos es discontinua y por un tiempo determinado el cual el conductor puede cambiar.

3.2.3.2. Depuradores centrífugos

Para controlar estos equipos se instalan transmisores de presión a la entrada de pasta y a la salida de los aceptados, de este modo podemos observar si el equipo trabaja correctamente al monitorear sus presiones.

Para los rechazos se instala una cámara controlada por dos válvulas *ON-OFF* y con sensores de posición para detección de posición de válvula CERRADA o ABIERTA. Implementando un programa para realizar purgas cada determinado tiempo.

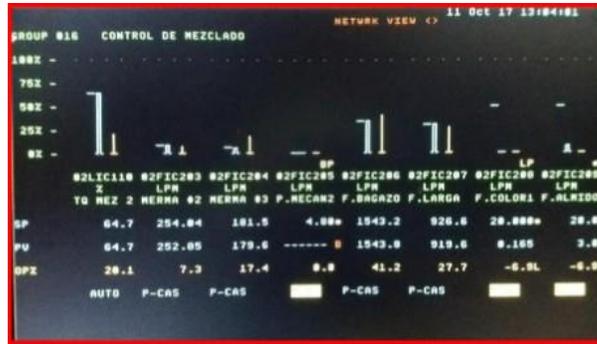


Figura 3.7. Grupo operativo para mezclado

3.2.4. Mezclado

Para el control de esta etapa tenemos un transmisor de nivel en el tanque de mezcla el cual se conectara a un PID en el DCS, este será el control maestro del mezclado. También tenemos 5 transmisores de flujo instalados en los diferentes flujos de pasta, además tenemos instaladas su correspondiente válvula de control como elementos finales del control de flujo. Cada uno de estos transmisores de flujo con su respectiva válvula de control están conectados a un PID configurado en el DCS, estos controles de flujo trabajaran como esclavos ya que el control de nivel del tanque ajustará su SP, esto si en control de flujo está en modo P-CAS. Para lograr tener las proporciones de tipos de pasta deseadas se elaboró un programa con el fin de ajustar los SP de cada uno de los diferentes flujos de pasta. El porcentaje de cada una de las 5 fibras se ajusta en una receta, donde se pone el nombre de la fibra que tiene cada uno de los tanques de pasta (MMA 2, MMA 3, PME2, BAGA, FLAR) y el porcentaje de contribución de dichas fibras, para darle al papel las características especificadas por el departamento de control de calidad (ver la Figura 3.6).



Figura 3.6. Receta para mezclado de fibras.

Con los datos en la receta y mediante el programa $MEZCLA_2$ se calculan los SP para los diferentes flujos de pasta y el mismo programa ajusta los SP de cada uno de los flujos, siempre y cuando estén en modo P-CAS. (ver Figura 3.7.a)

El programa de mezclado se puede manipular, cambiando **la secuencia, operación, ejecución, modo, fase, etapa** desde el desplegado llamado MEZCLA, dicho desplegado se muestra en la Figura 3.7.b

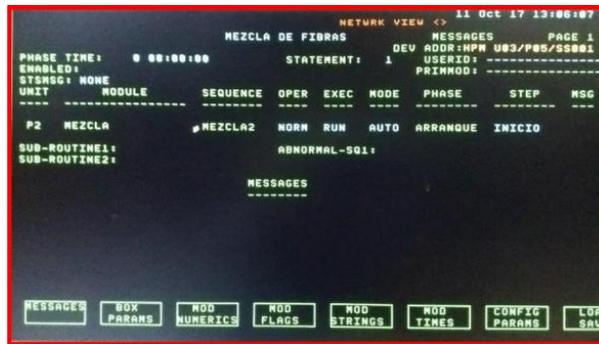


Figura 3.8. Programa de mezclado



Figura 3.9. Grupo operativo para control de pasta

3.3. Controles en el sistema de aproximación

Los equipos utilizados en esta etapa son: los tanques de máquina, el silo, las fan pumps, las cribas presurizadas y las cribas vibratorias. La pasta mezclada es pasada, mediante bombeo, a los tanques de máquina donde a la descarga de estos tanques controlamos el flujo de pasta mediante la medición de flujos con transmisores magnéticos de flujo y como elemento final de control tenemos un variador de frecuencia que mueve la velocidad de las bombas de pasta. También controlamos la consistencia la cual es alrededor de 3.5%, estas variables son importantes para el control del peso base. En el grupo operativo de la Figura 3.10.a podemos ver el control de los flujos de pasta y el arranque y paro de las bombas de pasta del tanque de máquina.

Después, la pasta pasa a la succión de las bombas de abanico donde también succiona una gran cantidad de agua que se encuentra en el silo. La consistencia que manejan las bombas de abanico es alrededor del 0.15%. Aquí controlamos la velocidad de las bombas de abanico mediante motores de CD.

Posteriormente, esta combinación de agua y pasta es pasada a las cribas presurizadas donde es depurada dicha mezcla, los controles usados en esta etapa son los transmisores de presión diferencial en donde podemos detectar si existe algún taponamiento y también tenemos una indicación de la carga del motor que mueve dichas cribas, en la Figura 3.10 .b vemos el grupo operativo para el control de estas cribas.

Finalmente, el agua y pasta al 0.15% de consistencia entra en la caja de entrada donde empieza el proceso de formación del papel. En la caja de entrada monitorean la presión diferencial entre la entrada y recirculación, la cual debe ser próxima a cero. En la recirculación, de la mezcla de agua y pasta, al silo esta debe ser un 10% del flujo total, ver Figura 3.11.

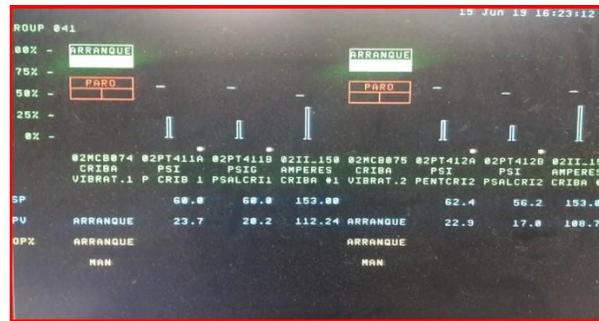


Figura 3.10. Grupos operativos de control de cribas

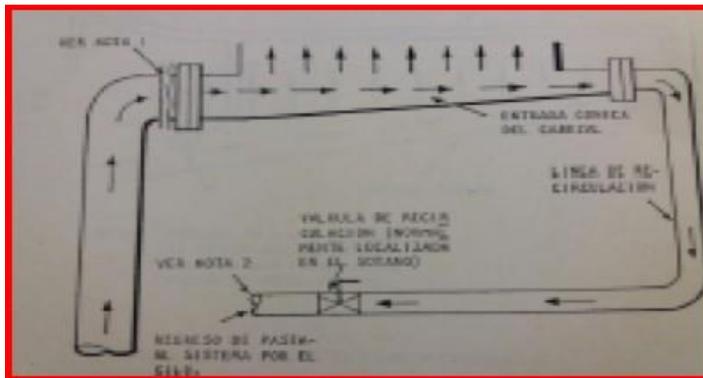


Figura 3.11. Diagrama de flujo de la caja de entrada.

3.4. Análisis de formación

En esta etapa se forma la hoja y empieza en la caja de entrada donde el flujo de agua y pasta es expulsada a través de una fina ranura horizontal (labio) que se extiende a lo ancho de la máquina entre dos telas sin fin que se mueven continuamente. En este caso es posible dirigir el desagote del agua tanto hacia arriba como hacia abajo con ayuda de cajas aspirantes.

La fibra sale de la caja de entrada a un 0.15% de consistencia y llega al fieltro a un 10% de consistencia. El control de relación de velocidad del chorro entre la velocidad de la tela, el cual se miden la presión dentro de la caja de entrada y la velocidad del rodillo formador con un tacómetro en la flecha del motor, ver ecuación 3.5.

$$R = \frac{V_p}{V_t} = \frac{\sqrt{2\rho gh}}{V_t} \quad (3.5)$$

Donde:

V_p = Velocidad de la pasta

V_t = Velocidad de la tela

ρ = Densidad

g = Aceleración producida por la gravedad

h = Presión hidrostática

Esta ecuación es introducida en el sistema como PV del control de relación el cual es el control maestro cuya OP modifica el SP del control de velocidad del chorro, control esclavo, y el cual a su vez mueve la velocidad de las fan *pumps*. En la Figura 3.12 se puede ver el grupo operativo donde se encuentran los controles mencionados, en la Figura 3.13 se observa el control de velocidad de las regaderas y en la

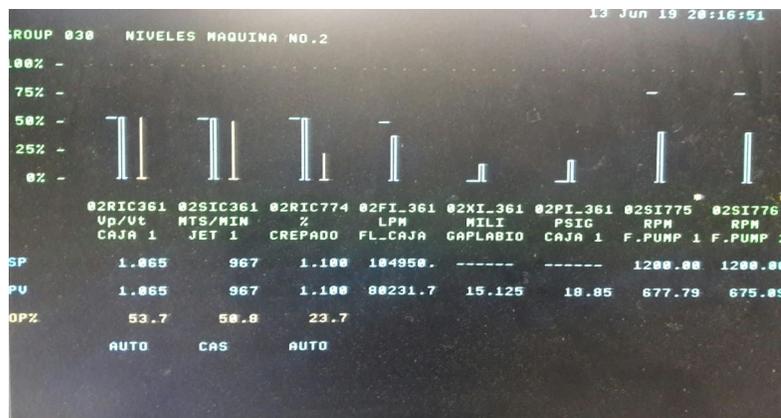


Figura 3.12. Grupo operativo control V_p/V_t .

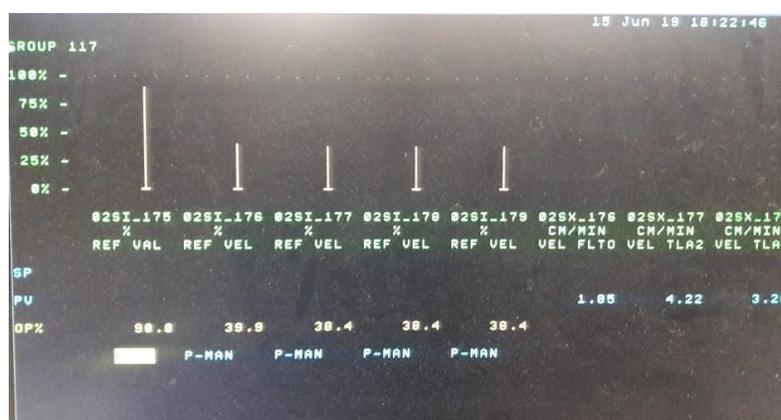


Figura 3.13. Control velocidad de regaderas.

Figura 3.14 vemos el chorro entrando a las telas, entre el rodillo formador y el rodillo de pecho.

Otro variable a controlar en esta etapa es la velocidad de las regaderas de alta presión, las cuales se encargan de limpiar las telas de las impurezas que lleva la pasta. Para realizar este control se realiza en el sistema el cálculo que debe llevar las regaderas en función de la velocidad de las telas y su longitud, con esto se genera una salida para mover el control de velocidad de las regaderas. En la Figura 3.13 se muestra el grupo operativo de dichos controles.

También tenemos los controles de guía de las telas, los controles de tensión de las telas, el control de vacío en la caja de transferencia, accionamiento del rodillo de pecho, regaderas fijas de alta presión, etc.

3.5. Análisis prensado

Luego de formada la hoja en la mesa de doble tela, el paso siguiente consiste en reducir el contenido de agua de la hoja mediante presión y vacío en la prensa, al mismo tiempo se compactan las fibras de celulosa para incrementar la resistencia del papel.

La hoja al salir de la etapa de formación entra a la de prensado incrementando la consistencia de 10% hasta un 40% al pegarse al Yankee. Para lograrlo se tienen bombas de vacío, instrumentación, fieltro, *pick-up*, rodillos guía, rodillo tensor, prensa, cajas de vacío y regaderas de limpieza, ver Figuras 3.15, 3.16 y 3.17.



Figura 3.14. Chorro entrando a la zona de formación.

Los controles en esta etapa son:

- Control de vacío en las cajas de vacío (superior e inferiores) y en el *pick-up*. Para controlar el vacío, en cada uno de los lasos de control, tenemos instalado un transmisor de vacío, dos válvulas de control (rompedora y de paso) y un PID configurado en el DCS, ver figuras 3.16 y 3.17.
- Además, tenemos el control para **subir, cargar y bajar** la prensa, el cual accionamos desde el DCS energizando solenoides que operan un sistema neumático, ver grupo operativo en Figura 3.18. Para poder realizar operación de subir y cargar la prensa, se requieren cumplir ciertas condiciones, las cuales se implementaron mediante bloques lógicos. Ver sección **PERMISIVOS e INTER-LOCKS PRENSA**.
- El control de presión agua de sellos a las bombas de vacío permite el arranque de las bombas de vacío, suministra agua fresca como sello y lubricación de dichas bombas.
- El control de nivel en la fosa de vacío, se logra mediante la instalación de un transmisor de nivel por burbujeo y como elemento final de control un *drive* de CA para mover el motor de la bomba de drenaje enviando el agua al silo.
- El accionamiento del *pick-up*, mediante el accionamiento de un motor que mueve un gusano y este a su vez mueve la posición del *pick-up* hasta una posición máxima ó mínima, las cuales son detectadas mediante sensores de posición.
- La tensión del fieltro la cual es muy similar al movimiento del *pick-up*.
- El control guía del fieltro, es un sistema neumático con reguladores de presión y palpador el cual detecta la posición del fieltro y este a su vez mueve al rodillo guía en la dirección correcta.
- El control de velocidad de las regaderas alta presión, el cual es muy similar al control de velocidad en las telas.

Permisivos e Interlocks Prensa

ESTADO 2 o PRENSADO ABAJO

Con cualquiera de las condiciones, mostradas abajo, que no se cumplan, la prensa se mantendrá en este estado.

- Velocidad Prensa mayor a 500 mpm
- Velocidad Yankee mayor a 500 mpm
- Presión vapor Yankee mayor a $1.4 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$
- Temperatura Yankee mayor a 93 C
- Velocidad Prensa = Velocidad Yankee
- Permiso para subir prensa $02HS213.PO = ON$

ESTADO 0 o PRENSA ARRIBA

En el grupo 105 el punto PERMISO debe estar DENTRO y el operador debe seleccionar selector *02HS213* en SUBIR y darle ENTER, con esto la prensa subirá con una presión de 25 psig y tocará el *Yankee*.

- Prensa subida *02HS213.P1 = ON*
- Estando en este estado si el operador desea bajar la prensa (ESTADO 2) únicamente selecciona en el selector en BAJAR y darle ENTER, la prensa bajara.
- Estando en este estado si algunas de las siguientes condiciones se cumple la prensa bajara (ESTADO 2) automáticamente.
 1. Velocidad de prensa menor a 500 mpm
 2. Velocidad del *Yankee* menor a 500 mpm
 3. Presión de vapor menor a $1.4 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$
 4. Temperatura del *Yankee* menor a 93 C
 5. Diferencia de velocidad entre prensa y *Yankee* mayor a 10 mpm
 6. Paro de prensa
 7. Paro de *Yankee*
- Bajar Prensa *02HS213.I2 = ON*

ESTADO 1 o PRENSA CARGADA.

En el grupo 105 el selector debe estar en el estado SUBIR (bandera llena) esto da permiso para pasar al Estado 1, entonces el operador seleccionara en selector *02HS213* en CARGAR y darle ENTER.

- Prensa cargada = ON
- Estando en este estado si el operador desea bajar la prensa (ESTADO 2) únicamente selecciona en el selector en BAJAR y darle ENTER, la prensa bajará.
- Del mismo modo, estando en este estado si alguna de las siguientes condiciones se cumplen la prensa bajará automáticamente.
 1. Velocidad de Prensa menor a 500 mpm.
 2. Velocidad del *Yankee* menor a 500 mpm.
 3. Presión de vapor menor a $1.4 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$.
 4. Temperatura del *Yankee* menor a 93 C .
 5. Diferencia de velocidad entre Prensa y *Yankee* mayor a 10 mpm.
- Paro de Prensa.
- Paro de *Yankee*.
- Este parámetro se pone ON para poder subir la prensa para realizar un NIP o mover los pernos de seguridad, sin cumplir las condiciones mencionadas y con *Yankee* y Prensa en paro. Si el *Yankee* empieza a girar este parámetro se pone OFF.
- *02HS213.BYPASS) = ON*

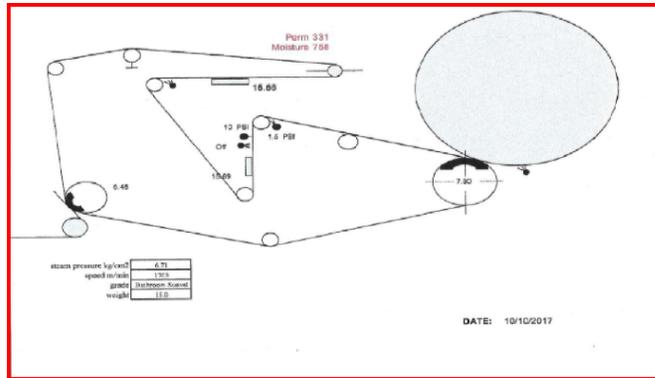


Figura 3.15. Recorrido del filtro y prensa.

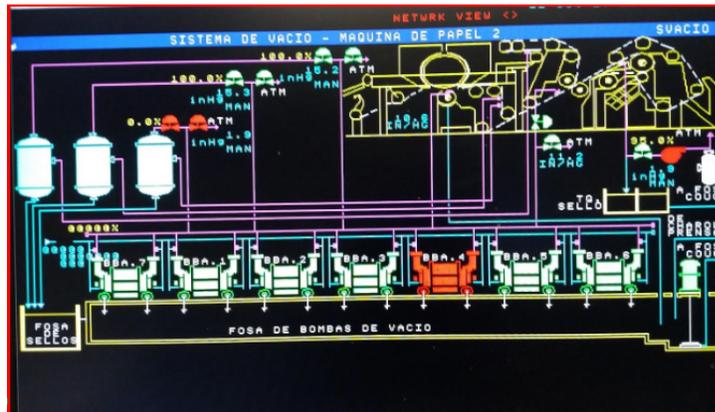


Figura 3.16. Sistema de vacío.

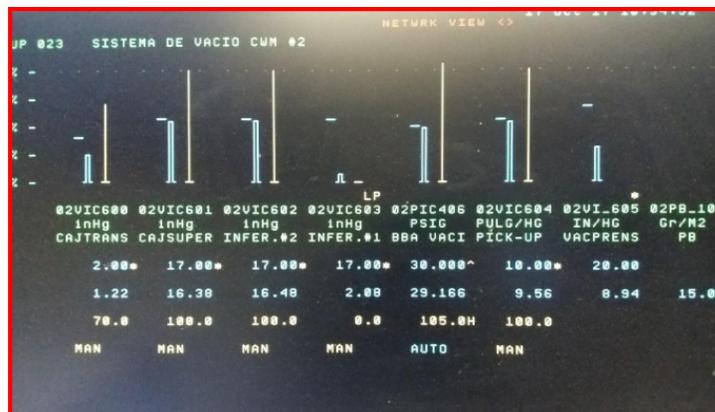


Figura 3.17. Grupo operativo sistema de vacío.



Figura 3.18. Grupo operativo para bajar-subir-cargar prensa.

3.6. Implementación de controles para secado.

Cuando la hoja sale de la etapa de prensado, su contenido de agua suele ser de 60% y al salir la hoja del *Yankee* tiene 5% de agua (Diciendo de otra forma entra la hoja a un 40% de consistencia y sale del *Yankee* al 95%). Para lograr esto utiliza el sistema de **vapor y condensado**, el sistema de aire caliente y el sistema de control de calidad el cual está compuesto por el marco de medición y la regadera de vapor. El cilindro *Yankee* es un cilindro hueco rotativo de hierro fundido. Se hace circular vapor a presión por la cavidad interior, que condensa y transfiere el calor a las paredes del cilindro *Yankee* y por medio de él, a la hoja de papel que se está secando y que depositó la prensa al *Yankee*. De esta manera, se ha realizado parte de la operación de secado.

El calor que es necesario para completar la operación de secado lo suministra el aire caliente, que es generado por el sistema de aire caliente y soplado por la campana de alto rendimiento mientras que la hoja pasa por debajo de su ángulo de envoltura. En la salida de la campana alto rendimiento, la hoja alcanza el nivel de secado deseado.

3.6.1. Vapor y condensado.

Este sistema cuenta con el cilindro *Yankee*, anteriormente mencionado, al cual se le suministra vapor a presión controlado, a través del termocompresor y una válvula de globo llamada válvula de relleno, por una de las tapas del *Yankee*. La hoja de papel es pegada a la superficie externa del *Yankee*, por la prensa y debido a la transferencia de calor dicha hoja se seca e internamente del *Yankee*, el vapor se condensa debido a que entregó calor a la hoja húmeda. Dicho condensado es expulsado del *Yankee*, por la diferencia de presión entre la entrada y salida del *Yankee*. El condensado expulsado pasa al tanque de *flash* donde parte de este condensado se convierte nuevamente en vapor y por la acción del termocompresor de generar vacío, este vapor es regresado a la entrada de vapor del *Yankee*, por esta razón el sistema también es conocido como de termocompresor y recirculación. Los controles existentes en este sistema son:

- Control de presión de vapor en el *Yankee*, es un PID configurado en el DCS el cual tiene como PV el transmisor de presión a la entrada del *Yankee* y como OP esta el termocompresor y la válvula de relleno en rango dividido para suministrar vapor al *Yankee*.
- Control de flujo *blow thru* o flujo recirculado, que está configurado como un PID esclavo, que se encarga de mantener la extracción de condensado del *Yankee*. Tiene como PV la señal de un transmisor de presión diferencial conectado a las tomas de una placa de orificio para medir el flujo de recirculación y la OP envía señal a dos válvulas de control en rango dividido, una en la recirculación al termocompresor y la otra descarga a la atmósfera. El SP lo recibe de la OP del control de presión diferencial.
- Control maestro de la presión diferencial, el cual tiene como PV la señal del transmisor de presión diferencial, con una toma a la entrada de vapor al *Yankee* y la otra toma a la salida de vapor, la OP del controlador se envía como SP del control de flujo *blow thru*.

- Control de nivel del tanque *flash*, configurado como un PID en el DCS. Tiene como PV la señal de nivel instalado en dicho tanque y la OP se conecta a la válvula de control. Este control, tiene como objetivo mantener el nivel del tanque, variable importante para mantener el secado del *yankee*.
- Control de nivel del tanque de almacenamiento de condensado que tiene como objetivo, mantener el nivel del tanque de almacenamiento de condensado.
- También tenemos el indicador de presión en el cabezal principal de vapor, el cual nos ayuda en caso de baja de presión en calderas.
- Indicador de flujo total de vapor al *Yankee*, este valor debe ser muy constante para una determinada fabricación y velocidad de máquina, si este dato no se obtiene quiere decir, que tenemos un problema en nuestro sistema de vapor y condensado.
- Indicador de temperatura en el tanque *flash*, el cual nos indicará alguna variación en la parte interna del sistema.

El grupo operativo donde se encuentran los controladores arriba mencionados se muestran en la Figura 3.19.

Además de los controladores también se configuró la lógica necesaria para implementar todos los *interlocks* necesarios en este sistema y la secuencia de operación. Los *interlocks* más importantes en este sistema son:

- Para arrancar los motores del *Yankee* deben de estar los ventiladores de enfriamiento en RUN; los detectores de flujo de aire de enfriamiento a motores deben de estar ON; la unidad hidráulica del reductor debe estar en RUN; los flujos de aceite a las chumaceras lado frente y lado accionamiento deben de estar ON.
- Si los motores del *Yankee* esta en STOP el control de vapor del *Yankee* se pone en SHDW y el control del flujo *blow thru* también se pone en SHDW (bloqueados) y el selector de operación se pone en FUERA, implica que la válvula de desfogue debe abrir y la de recirculación debe cerrar, el termocompresor debe cerrar y la válvula de relleno debe cerrar.
- Si los motores del *Yankee* están en RUN y la temperatura en la superficie del *Yankee* es menor a 93 C, el selector de operación se pone en CALENTAMIENTO y los controles de vapor y de *blow thru* se liberan del bloqueo, se ponen en MAN y con OP= -6.9%.
- Si los motores del *Yankee* están en RUN y la temperatura de la superficie del *Yankee* es mayor a 93 C el selector de operación se pone en OPERACIÓN normal, con lo cual se presuriza hasta 2.4 Kg/cm² y se subirá la prensa, se arrancan las bombas de pasta y cerraran las campanas y se arrancará el fuego alto en los quemadores.

Para visualizar esta secuencia, ver el diagrama en la Figura 3.20, también a continuación se muestran algunas abreviaciones para entender dicho diagrama.

- MY1= Motor1 del *Yankee*.
- MY2= Motor2 del *Yankee*.
- IT1= Indicador de temperatura del *Yankee*.
- FC1= Control flujo de vapor *blow thru*.
- SC1= Control velocidad del *Yankee*.
- HS1= Selector operación vapor CALENT-FUERA-OPERA.
- HS2= Selector posición de prensa BAJAR-SUBIR-CARGAR.
- RUN= Arranque.
- STOP= Paro.
- AUTO= Modo automático.
- MAN= Modo manual.
- SP= *Set Point*.
- PV= Variable de proceso.

- OP= Salida al proceso.
- OPEN= Abierta.
- CLOSE= Cerrada.
- SHDW= Bloqueo del controlador en un punto prefijado.
- PVR1= Válvula de relleno para control de presión.
- PVT1= Termocompresor para control de presión.
- PVC= Válvula de calentamiento.
- FVP1= Válvula de purga vapor a la atmósfera.
- FVR1= Válvula de recirculación de vapor.
- PC2= Control presión aire a la prensa LF.
- PC3= Control presión aire a la prensa LA.
- PC4= Control de presión regadera YS.
- FC2= Control flujo de pasta 1.
- FC3= Control flujo de pasta 2.
- TC1= Control temperatura campana LH.
- TC2= Control temperatura campana LS.

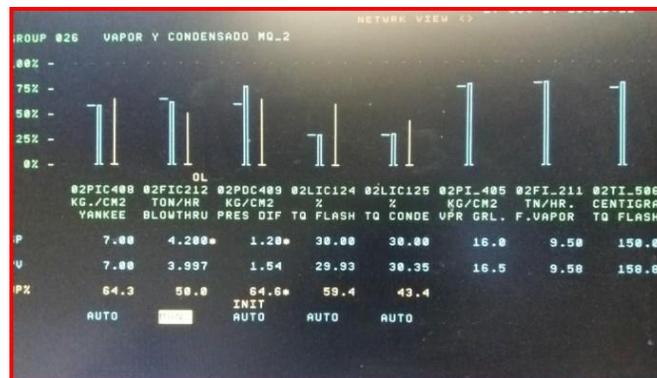


Figura 3.19. Grupo operativo vapor y condensado.

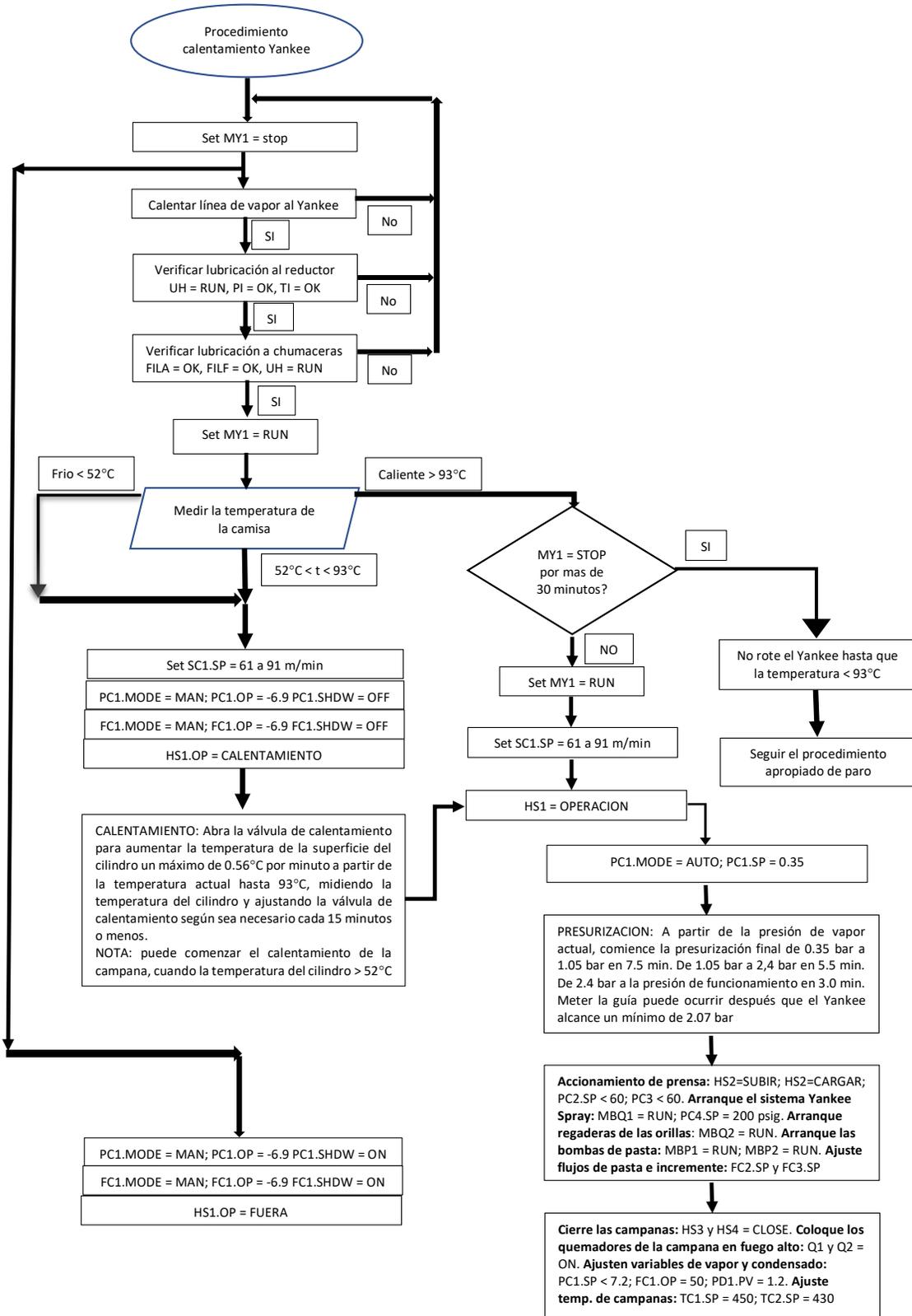


Figura 3.20. Secuencia de operación de vapor y condensado.

3.6.2. Sistema de aire caliente.

Este sistema consta de:

- Dos trenes de gas para acondicionar la presión de gas y controlar el encendido de dos quemadores. También cuenta con las válvulas reguladoras de presión para controlar la temperatura deseada en función de la presión creada por el aire.
- El medio a calentar es el aire, por lo cual cuenta con dos ventiladores de recirculación, los cuales recirculan parte del aire caliente enviado a la campana de secado y lo hacen pasar por los quemadores. Además cuenta con un ventilador de extracción, ductos y compuertas las cuales regulan el flujo de aire por dichos ductos.
- Otro elemento en este sistema son las campanas de secado, las cuales son accionadas por un sistema hidráulico y puestas en posición CERRADAS para secar el papel que pasa por el *Yankee* y cuando no hay papel en el *Yankee* estas campanas son ABIERTAS.

La función de la campana de alto rendimiento (Figura 3.21), es soplar aire a alta temperatura y acelerar el aire hacia la hoja que está pasando pegada al secador.

La temperatura y la velocidad del aire de soplado determinan la capacidad de secado del sistema y se enumeran en las especificaciones técnicas.

La configuración del sistema de aire, además de influir en la capacidad de secado del sistema, tiene un impacto en el consumo de energía del mismo sistema; por lo tanto, siempre será necesario establecer las mejores condiciones de ajuste para reducir el costo de secado al mínimo.

Algunos de los controles que se elaboraron se pueden ver en la Figura 3.22, a continuación se describen:

- Control de temperatura campana lado húmedo. Este lazo está compuesto por el transmisor de temperatura, *drive* AC para mover la velocidad del ventilador de combustión, para mover el flujo de gas y mantener la relación de aire/combustible tenemos una válvula actuada con la presión del aire la cual mantiene la misma presión en el gas ya que tiene una relación 1:1 en las presiones aire/gas, también tiene un PID configurado en el DCS.
- Control de temperatura campana lado seco. Este lazo está compuesto por el transmisor de temperatura, *drive* AC para mover la velocidad del ventilador de combustión para el flujo de gas y mantener la relación de aire/combustible tenemos una válvula actuada con la presión del aire, la cual mantiene la misma presión en el gas ya que tiene una relación 1:1 en las presiones aire/gas y un PID configurado en el DCS.
- Control de velocidad ventilador de extracción. Este lazo abierto nos sirve para sacar aire húmedo del sistema de aire caliente y enviarlo a otros sistema de recuperación de calor.
- Control de velocidad del ventilador de recirculación aire lado húmedo. Este control nos sirve para secar la hoja en el *Yankee*, obteniendo una respuesta más rápida que la que pudiéramos obtener moviendo la temperatura de la campana del lado húmedo.
- Control de velocidad del ventilador de recirculación aire lado seco. Este control nos sirve para secar la hoja en el *Yankee*, obteniendo una respuesta más rápida que la que pudiéramos obtener moviendo la temperatura de la campana del lado seco.
- Control de posición de las compuertas en los ductos, (recirculación LH, balance LH, aire fresco LH, recirculación LS, balance LS, aire fresco LS, extracción, etc.). Estas nos sirven para controlar el flujo de aire en los ductos y mantener el balance del aire contaminado con el aire fresco, manejando adecuadamente estas compuertas podemos hacer más eficiente el sistema y, por lo tanto, más económico.
- Indicadores de temperatura en varios puntos del sistema, nos sirve para mantener balanceado el sistema y así sea más eficiente.
- Control del accionamiento de la campana lado húmedo, con el cual podemos cerrar la campana cuando tengamos la banda de papel en el *Yankee*, en caso de perder dicha banda abrir en automático la campana.

- Control del accionamiento de la campana lado seco, con el cual podemos cerrar la campana cuando tengamos la banda de papel en el *Yankee*, en caso de perder dicha banda abrir en automático la campana.
- Control lógico para la operación del sistema de aire caliente, el cual se describe a continuación.

3.7. Sistema de retracción de la campana Unidad Hidráulica

3.7.1. Principio de funcionamiento.

El sistema hidráulico consta de 1 unidad de bombeo con 2 acumuladores de aceite (para cada retracción de campana)

3.7.2. Dispositivos.

- Motor eléctrico (P-569-M1).
- Bomba hidráulica (P-569).
- Interruptor de nivel para bajo nivel de aceite (LSL1 569).
- Interruptor de nivel para nivel de aceite bajo-bajo (LSL2 569).
- Sensor de temperatura para baja temperatura del aceite (TT1 569).
- Transmisor de presión (PT1-569).
- Válvula hidráulica para presión de línea (GSV1 569).

3.7.3. Interfaz del operador.

La bomba se puede controlar a través del DCS con los siguientes controles:

- Modo automático o manual.
- Controles de arranque-paro.
- Ajuste del límite de baja presión.
- Ajuste del límite de alta presión.

3.7.4. Descripción de funcionamiento.

El sistema tiene una sola bomba con dos acumuladores. El depósito de aceite está equipado con un sensor de temperatura e interruptor de nivel que supervisa las condiciones del aceite; si el aceite está por debajo del nivel o la temperatura es demasiado alta, el DCS detendrá la bomba.

La unidad hidráulica está provista de una válvula hidráulica para presión de línea (GSV1 569), que da la presión a los usuarios (cilindros o acumulador). Esta válvula se energiza durante los movimientos de la campana, el calentamiento del aceite o la carga de presión del acumulador. En todas las demás condiciones, la válvula hidráulica se desactiva para permitir la recirculación del aceite al tanque y para evitar el sobre calentamiento.

Por otro lado, la bomba hidráulica arranca, para mantener la presión y la temperatura del aceite dentro de las condiciones de funcionamiento.

La bomba arranca automáticamente SI:

- Existe requerimiento de apertura de la campana LH (X570OPN), **Ó**
- Existe requerimiento de cierre de campana LH (X570CLS), **Ó**
- Existe requerimiento de apertura de la campana LS (X670OPN), **Ó**
- Existe requerimiento de cierre de la campana LS (X670CLS), **Ó**
- Los acumuladores hidráulicos tienen presión por debajo del punto de ajuste (X569P), **Ó**
- Temperatura del aceite está por debajo del punto de ajuste (X569C).

La bomba para (con un retraso de 60 segundos) SI:

- Campana LH no requiere apertura (lazo 570), **Y**
- Campana LH no requiere cierre (lazo 570), **Y**
- Campana LS no requiere apertura (lazo 670), **Y**
- Campana LS no requiere cierre (lazo 670), **Y**
- Presión del acumulador hidráulico arriba del punto de ajuste (PT1-569), **Y**
- Temperatura del tanque de aceite por encima del punto de ajuste (TT1-569).

3.7.5. Interlocks.

Motor de la bomba para:

- Nivel de aceite bajo-bajo (LSL2 569).
- Temperatura del aceite alta-alta (TT1 569).
- Falla del transmisor de presión (PT1-569).
- Falla del motor (M-569.MF).
- Falta la señal de confirmación de funcionamiento del motor (M-569.RF).

3.7.6. Señales monitoreadas.

<u>Condición</u>	Alta-Alta temperatura del aceite	<u>Alarmas</u>	<u>Acción</u>
Nivel de aceite OK			
Bajo nivel de aceite			
Bajo-bajo nivel de aceite	<u>Indicación</u>	X	Precaución P-569 pare
		X	
Temperatura del aceite	X	X	Precaución P-569 pare
		X	
Alta temperatura del aceite	X		

3.7.7. Ajuste operativo.

<u>Modo de operación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>
Limites arranque calentamiento	25C	35C
Limites paro calentamiento	35°C	45C
Limites alta-alta temperatura	60C	70C
Ajuste limite baja presión	1305 psi	1813 psi
Ajuste limite alta presión	1450 psi	1958 psi

3.8. Control sistema retracción campana LH

3.8.1. Principio de operación.

El sistema de retracción se realiza mediante cilindros hidráulicos; la potencia hidráulica necesaria para el movimiento es alimentado por la unidad hidráulica.

El propósito del sistema de retracción es abrir y cerrar la campana para permitir el enhebrado del papel y operaciones de limpieza.

3.8.2. Dispositivos.

- Cilindro hidráulico lado operación (V1 570).
- Cilindro hidráulico lado transmisión (V2 570).
- Válvula hidráulica para detener el movimiento (GSV1 570).
- Válvula hidráulica para cierre (1) / apertura (0) movimiento (GSV2 570).
- Interruptor de proximidad para posición abierta - LF (GSO1 570).
- Interruptor de proximidad para posición cerrada - LF (GSC1 570).
- Interruptor de proximidad para posición abierta - LA (GSO2 570).
- Interruptor de proximidad para posición cerrada - LA (GSC2 570).

3.8.3. Interfaz del operador.

El sistema de retracción de la campana se puede controlar a través del DCS con los siguientes controles:

- Controles Abrir, Cerrar
- Reset de alarma

Desde la caja de control de la máquina del cliente mediante lo siguiente:

- Pulsadores ABRIR (HS1-570), CIERRE (HS2-570), PARADA (HS3-570).

3.8.4. Descripción de funcionamiento.

El operador de la estación DCS o de la caja de control del cliente puede abrir, cerrar y detener la campana (la última opción solo está disponible en la caja de control del cliente).

Cuando el ventilador de aire de proceso está funcionando, la cubierta se abre automáticamente en uno de los siguientes condiciones:

- Cilindro *Yankee* no gira
- No hay papel en *Yankee*

Mientras las condiciones sean ciertas, no está permitido cerrar la campana. Tanto el lado operación como el lado motriz de la campana están equipados con dos interruptores de proximidad que supervisan el movimiento de la campana. Estos interruptores de proximidad detectan el inicio y el final de la carrera del movimiento (posición abierta y cerrada).

Se genera una advertencia, si se detecta un interruptor de proximidad de posición abierta o cerrada y el correspondiente en el otro lado no se detecta dentro de un tiempo prefijado. Si se encuentra en estado forzado, en esta condición, el sistema de retracción de la campana se ve obligado a abrir la posición.

Interlocks.

Campana forzado para abrir (X570E):

- El *Yankee* no está girando y el ventilador de aire de proceso está en *run*.
- No hay papel en el *Yankee* y el ventilador de aire de Proceso está en *run*.

Esta función se enclava:

- Quemador del LH.
- Control de temperatura del aire del proceso del LH.
- Ventilador de aire de proceso del LH.
- Ventilador de aire de escape.

3.8.5. Monitoreo de señales.

<u>Condición</u>	<u>Indicación</u>	<u>Alarmas</u>	<u>Acción</u>
Control abriendo	X		
Control cerrando	X		
Abrir forzado	X		
Posición abierta	X		
LF	X		
Posición abierta	X		
LA	X		
Posición cerrada		X	Precaución
LF		X	Precaución
Posición cerrada		X	Control abrir <i>off</i>
LA		X	Control cerrar <i>off</i>
Falla posición abierta			
Falla posición cerrada			
Tiempo fuera al abrir			
Tiempo fuera al cerrar			

3.9. Control del sistema de retracción de la campana LS.

3.9.1. Principio de funcionamiento.

El sistema de retracción se realiza mediante cilindros hidráulicos; la potencia hidráulica necesaria para el movimiento es alimentada por la unidad hidráulica. El propósito de este sistema, es abrir y cerrar la campana para permitir el enhebrado del papel y las operaciones de limpieza.

3.9.2. Dispositivos.

- Cilindro hidráulico LF (V1 670).
- Cilindro hidráulico LA (V2 670).
- Válvula hidráulica para detener el movimiento (GSV1 670).
- Válvula hidráulica para movimiento de cierre / apertura (GSV2 670).
- Interruptor de proximidad para posición abierta - LF (GSO1 670).
- Interruptor de proximidad para posición cerrada - LF (GSC1 670).
- Interruptor de proximidad para posición abierta - LA (GSO2 670).
- Interruptor de proximidad para posición cerrada - LA (GSC2 670).

3.9.3. Interfaz del operador.

El sistema de retracción del capó se puede controlar a través del DCS con los siguientes controles:

- Controles abrir cerrar.
- *Reset* de alarma.

Desde la caja de control de la máquina del cliente mediante lo siguiente:

- Pulsadores ABIERTOS (HS1-670), CERRAR (HS2-670), PARADA (HS3-670)

3.9.4. Descripción de funcionamiento.

El operador de la estación DCS o la caja de control puede abrir, cerrar y detener (parada disponible solo desde la caja de control) la campana.

Cuando el ventilador de aire de proceso está funcionando, la cubierta se abre automáticamente en una de las siguientes condiciones:

- Cilindro *Yankee* no funciona
- No hay papel sobre *Yankee*

Mientras que, las condiciones sean ciertas, no está permitido cerrar la campana.

Tanto el LF como el LA de la campana están equipados con dos interruptores de proximidad que supervisan el movimiento de la campana. Estos interruptores de proximidad detectan el inicio y el final de la carrera de movimiento (posición abierta y cerrada).

Se genera una advertencia si se detecta el interruptor de proximidad de posición abierta o cerrada y el correspondiente en el otro lado no se detecta dentro de un tiempo prefijado.

Estado forzado, en esta condición, el sistema de retracción de la campana se ve obligado a la posición abierta.

3.9.5. Enclavamientos

Campana forzada a abrir (X670E):

- El *Yankee* no está en *run* y el ventilador de aire de proceso está en *run*.
- No hay papel en el ventilador de aire *Yankee* y *Process*.

Esta función enclava:

- Quemador LS.
- Control de la temperatura del aire de proceso LS.
- Ventilador de aire de proceso LS.
- Ventilador de aire de extracción.

3.9.6. Monitoreo de señales.

Condición	Indicación	Alarmas	Acción
Control para abrir	X		
Control para cerrar	X		
Forzado a abrir	X		
Posición abierta	X		
LF	X		
Posición abierta	X		
LA		X	Precaución
Posición cerrada		X	Precaución
LF		X	Control abri <i>off</i>
Posición cerrada		X	Control cerrar <i>off</i>
LA			
Posición abierta falla			
Posición cerrada falla			
Tiempo fuera para abrir			
Tiempo fuera para cerrar			

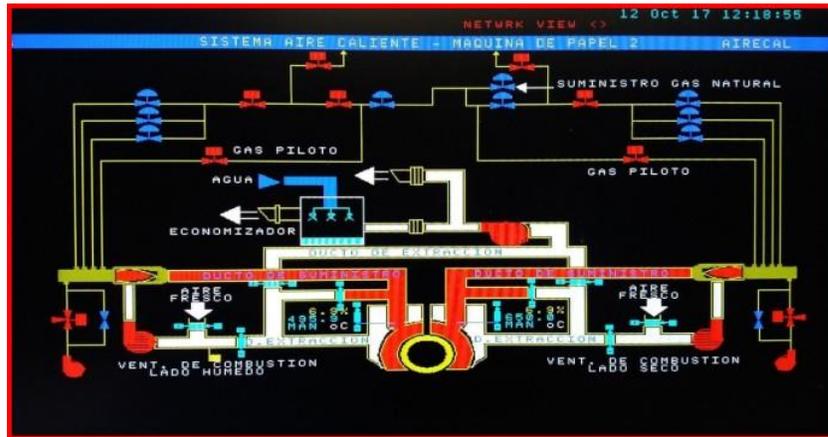


Figura 3.21. Diagrama de campana de secado.

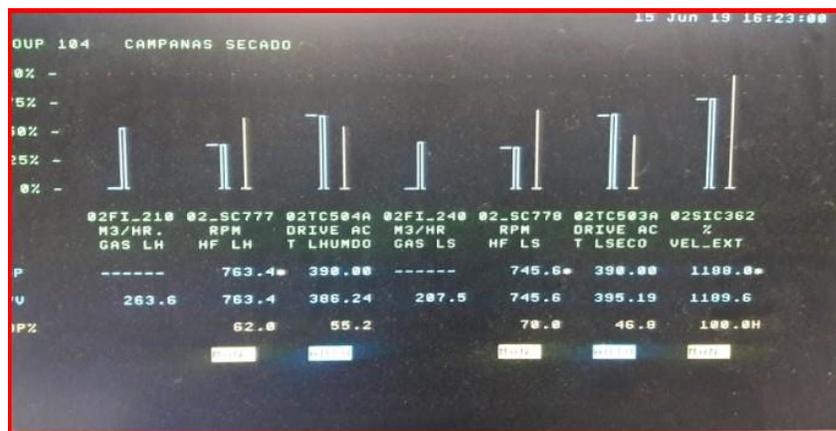


Figura 3.22. Grupo operativo controles de la campana.

3.10. Controles en el sistema de control de calidad (QCS)

3.10.1. Control de humedad en dirección transversal.

El control de humedad en dirección transversal, por sus siglas (CD), funciona cuando la banda de fibra (hoja) que viene de la caja de entrada contiene más del 95 % de agua. La caja de entrada produce una variación en la cantidad de peso que influye en la humedad del CD. Las venas de mayor peso en la hoja tienen más contenido de agua y aparecerían a temperaturas más bajas. A medida que la banda de papel húmeda y fría viaja debajo del Devronizer, hay un cambio instantáneo de temperatura cuando el vapor se condensa en la estructura de la fibra. El control automático de CD entrega más vapor a aquellas áreas con alta humedad, alterando la temperatura de la hoja y el perfil de humedad (ver Figura 3.23). El cambio de temperatura en la Dirección de la máquina (MD), se puede medir fácilmente de forma manual con un instrumento de infrarrojos. La medición del perfil de humedad del CD del escáner mostrará el efecto de la regadera de vapor.

Con la temperatura de la hoja elevada, la viscosidad del agua en la hoja disminuye, lo que permite que se produzca un aumento del desagüe. El desagüe comienza inmediatamente donde está presente el vacío. La temperatura de la hoja se lleva a la línea de contacto, lo que hace que las prensas funcionen de manera más eficiente y produzcan un mayor flujo de agua. Después de las prensas, se reduce la variación de pico a pico de humedad de CD, lo que reduce la demanda de vapor en la sección del secador. Los beneficios de la regadera de vapor se miden con su capacidad para nivelar el perfil de humedad y aumentar la sequedad de la hoja que va al secador. (ver Figura ??).

En algunos procesos puede haber menos demanda para la reducción de la variación de CD. En tales casos, los beneficios MD (aumento de la sequedad después de la prensa) son más deseables. Además, con la calidad de papel mejorada, se pueden establecer nuevos objetivos de humedad, que conducirán a importantes aumentos en la producción de la máquina, lo que hace que el valor del ROI sea muy atractivo.



Figura 3.23. Desplegado para control perfil de humedad CD.

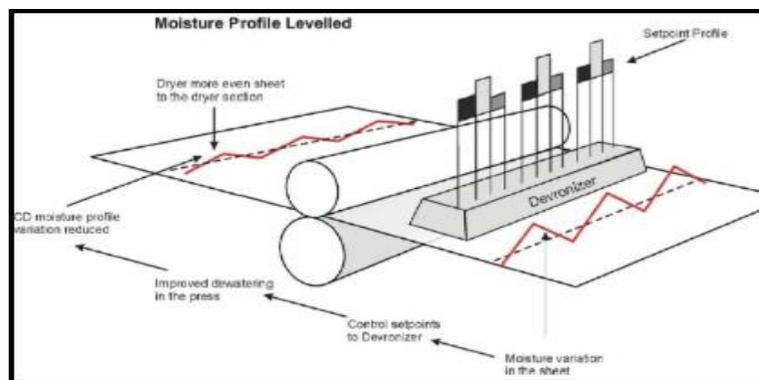


Figura 3.24. Diagrama del control perfil de humedad CD.

3.10.2. Control de peso base y humedad en dirección máquina.

El control de peso y humedad en dirección máquina, por sus siglas (MD), es realizado poniendo los controles de flujos de pasta, presión del *Yankee* y temperatura de campana en CAS. Estos controles se encuentran en la red LCN y las variables entran y salen por el HPM.

Por otro lado, la estación que se encarga de enviar datos del QCS al DCS es el APP *node*.

3.11. Controles de crepado.

Este proceso genera en la hoja de papel una onda tipo acordeón que le otorga elasticidad, que mejora su suavidad y su capacidad de absorción comparándolo con papeles lisos. Una lámina metálica denominada cuchilla crepadora permite la separación del papel del *Yankee*, para después ser enviada al enrollador. A esta etapa del proceso se le conoce como crepado y está compuesta por los doctores de corte, crepado y limpieza. Además los equipos necesarios para formar el *Coating* (Recubrimiento de la superficie del secador) como la regadera *Yankee spray (Chilling shower)*, las bombas e instrumentos necesarios para la preparación y control de la mezcla de químicos enviados al *Yankee* para su protección y despegue de la hoja de papel.

El doctor de corte, es un equipo que cuenta con los accionamientos neumáticos necesarios para ser apoyada al *Yankee* y con una cuchilla para cortar la hoja de papel ya formada, los equipos de instrumentos son: Cilindros neumáticos; válvulas direccionales y reguladores de presión. Este doctor, es usado por el operador normalmente durante un cambio de rollo o cambio de cuchilla de crepado.

Por otro lado, el doctor de crepado, es un equipo que cuenta con un accionamiento neumático para apoyar la cuchilla al *Yankee* y despegar la hoja, los equipos con los que cuenta son: Pistones neumáticos a ambos extremos del *Yankee*; válvula direccional para el movimiento del doctor; regulador de presión para darle la presión adecuada a la cuchilla que está despegando la hoja. Cabe mencionar, que esta cuchilla es muy importante para darle la características a la hoja de papel final.

Por ultimo, el doctor de limpieza, es un equipo que cuenta con un accionamiento neumático para apoyar la cuchilla al *Yankee* y despegar la hoja, los equipos con los que cuenta son: Pistones neumáticos a ambos extremos del *Yankee*; válvula direccional para el movimiento del doctor; regulador de presión para darle la presión adecuada a la cuchilla. Cabe decir, que este doctor es utilizado todo el tiempo pegado al *Yankee* para la limpieza de la superficie del secador.

3.11.1. Control en la regadera *chilling shower*.

- **Control de presión en *chilling shower*** (ver Figura 3.25. Este control es importante para mantener la presión de los químicos a la superficie del *Yankee* y por tanto mantener un recubrimiento constante en la superficie del *Yankee*, lo cual es una condición para mantener el crepado. Está compuesto por un transmisor de presión y una válvula de control en la recirculación de químicos al tanque de mezcla, además tenemos configurado un PID en el DCS.
- **Control de nivel en el tanque de mezcla de químicos.** Este control nos asegura mantener el nivel en dicho tanque, además, ante alguna variación podemos mantener la continuidad del proceso. Este lo usamos como control maestro para mantener los flujos de la resina, *release* y MAP, de acuerdo a las proporciones de cada uno de los flujos. Para este control tenemos un transmisor de nivel en el tanque de mezcla y una válvula de control para dosificar el agua al tanque de mezcla, además configuramos un PID para este control.
- **Control de temperatura de químicos en tanque de mezcla.** Este control nos mantiene la temperatura del flujo a la superficie del secador y debe ser igual a la temperatura que tiene el secador, esto nos evita tener una variación rápida de temperatura en la superficie del secador. Tenemos un transmisor de temperatura en el tanque de mezcla y una válvula de control en la línea de vapor al tanque de mezcla, así como un PID en el DCS.
- **Control flujo de resina al tanque de mezcla.** Este control trabaja en CAS ya que su SP es fijado por el flujo de agua al tanque de mezcla y ajustando el RATIO del PID ponemos la relación deseada de *relisal* tanque de mezcla. Para este control contamos con un transmisor de flujo y un *drive* para controlar la velocidad de la bomba.
- **Control flujo de reléase al tanque de mezcla.** Este control trabaja en CAS ya que su SP es fijado por el flujo de agua al tanque de mezcla y ajustando el RATIO del PID ponemos la relación deseada de *relis* al tanque de mezcla. Para este control contamos con un transmisor de flujo y un *drive* para controlar la velocidad de la bomba.
- **Contamos con dos bombas** para que una este de reserva y arranque en caso de que la bomba en operación falle, esto en la descarga del tanque de mezcla, de este modo no paramos la producción. También contamos con el arranque y paro de los motores de dichas bombas, para lo cual configuramos con bloques lógicos.
- **También contamos con un bloque lógico** que detecta que este sistema (*Chilling Shower* esta lleno y listo para arrancar, con esto da permiso de arranque a las bombas de pasta, ya que en caso de que no este listo y trabajando no se podrá enrollar por la falta de revestimiento en la superficie del *Yankee*.

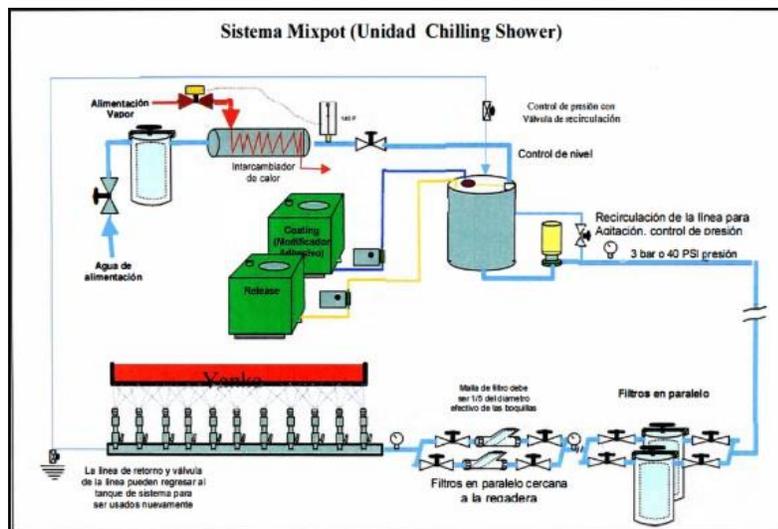


Figura 3.25. Unidad *Chilling Shower*.

3.12. Controles de enrollado.

Los controles más importantes en la etapa de enrollado son:

- **Control de metraje en las bobinas.** Cuando la hoja se logra meter al *reel*, lo detecta un sensor de rotura de hoja e inicia la formación de la bobina, en ese momento arranca un *timmer* en minutos que se multiplica por la velocidad del *reel* que está en m/min, esto es enviado a un integrador para darnos el total de metros que lleva el rollo. Cuando el rollo es expulsado se rompe la hoja detectándolo el sensor de rotura de hoja y haciendo un *reset* tanto el *timmer* como el totalizador de metros y dejándolos listos para iniciar la contabilidad del siguiente rollo. Todos estos datos son almacenados en la historia del sistema para ser usados después.
- **Control de la producción.** Por medio de sensar el movimiento de los brazos secundarios se detecta el cambio de rollo y como esto se almacena en el modulo de historia podemos saber cuántos rollos se produjeron por turno. Además tenemos el dato de los metros que tiene cada rollo el ancho de la bobina y peso base de la hoja (datos obtenidos por el QCS). Por lo tanto podemos saber cuántas toneladas se produjeron por turno, por día, por mes. También podemos saber cuánto tiempo perdido se tuvo en cada turno y cuanta merma se produjo. De este modo tenemos un control de la producción y de la eficiencia de la máquina.
- **Control de la relación de crepado.** Se obtiene de dividir la velocidad del *Yankee* entre la velocidad del reel, esto se usa como la PV del PID y la OP es la referencia de velocidad del *reel*.

Capítulo 4

Resultados obtenidos

4.1. Aportaciones profesionales

En las instalaciones actuales de la máquinas de papel, el proveedor entrega: la ingeniería (*loops*, diagramas de cableado de campo a DCS, diagramas de cableado e instalación del DCS, etc.); la carga del *software* del sistema y la configuración de las estrategias de control. En este proyecto el personal de planta realizo todas estas actividades con un mínimo de participación de personal experto externo.

Además, personal de planta ejecuto todos los cambios (conexiones, ajustes de parámetros, pruebas y arranque de todo el equipo de control) del sistema anterior al nuevo sistema.

La parte que mas participe fue en la implementación de los controles de máquina, supervisión de la instalación, las pruebas y arranque de dicho sistema y de capacitación a los operadores.

También el reto fue realizarlo sin tener que parar la máquina y sin provocar paros de máquina, lo cual lo logramos debido al conocimiento que tenemos de la máquina y aprovechábamos los paros por mantenimiento de máquina.

En el año de 1997 instalamos y arrancamos el DCS, pero con la experiencia que ya teníamos, continuamos implementando otros proyectos que a continuación menciono:

- Sistema de depuración para limpieza del agua de plásticos y tintas.
- Control temperatura campana mediante *drives*.
- Control flujo de pasta a fan *pump* mediante *drives*.
- Recuperación de aire caliente en campanas.
- Implementación del sistema de medición metraje de papel.
- Sistema de limpieza en fieltro.
- Cambio de campanas de alto rendimiento.
- Modificación del recorrido del fieltro.
- Implementación de *interlocks* en máquina.
- Compra, instalación y arranque del QCS.
- Control de potencia en refinador de discos.

4.2. Descripción del puesto de trabajo

Durante mi estancia en la empresa ocupe varios puestos de trabajo, desde instrumentista en el año de 1983, cuando ingrese a la planta, hasta superintendente eléctrico e instrumentos en 1997. Por lo tanto, daré la descripción del puesto de superintendente de mantenimiento. Como superintendente tenía la responsabilidad de planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento, de los sistemas de control de procesos (computadoras de proceso, equipos de control distribuido, PLC), equipos eléctricos e instrumentación. Así como identificar, desarrollar y ejecutar proyectos de mejora a los sistemas de control de procesos. Principales Responsabilidades:

- Participar en las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo a los sistemas y equipos de control de proceso, de acuerdo a las necesidades de producción y de los equipos. Con el propósito de garantizar la continuidad de las operaciones y conservarlos en condiciones de funcionamiento.
- Implementar las rutinas de inspección a los equipos, que permitan detectar condiciones anormales de funcionamiento. Con el propósito de programar oportunamente su mantenimiento, antes de que ocurra la falla, se dañen los equipos o afecten las características del proceso.
- Organizar y dar seguimiento a los programas de paro por mantenimiento correctivo y preventivo a los sistemas y equipos de control de proceso y de que estos se realicen de acuerdo a lo planeado. Con el propósito de mantenerlos en un nivel alto de confiabilidad y disponibilidad.
- Organizar y controlar los recursos de las actividades requeridas para la reparación de los equipos de repuesto y de que estas se realicen en calidad, tiempo y costos adecuados. Con el propósito de mantenerlos disponibles para su aplicación y cumplimiento de los programas de mantenimiento.
- Controlar la contratación de servicios externos requeridos por su área de responsabilidad, así como seleccionar y evaluar proveedores que garanticen la ejecución de los trabajos asignados.
- Es responsable del control de los activos asignados y de su alta en el sistema de mantenimiento.
- Participar en la elaboración de objetivos, presupuestos, procedimientos de trabajo y requerimientos de sus áreas de responsabilidad de acuerdo a las políticas, estrategias y requerimientos de servicio con el fin de satisfacer las necesidades demantenimiento.
- Mantenerse actualizado en los procesos de producción, servicios, sistemas y nuevas tecnologías. Con el propósito de ofrecer las mejores alternativas de solución a las necesidades de mantenimiento de los equipos y sistemas.
- Controlar los costos de mantenimiento a los sistemas y servicios prestados. Identificar desviaciones, oportunidades de ahorro, así como tomar acciones correctivas y preventivas oportunas que permitan la producción de bienes y servicios de bajo costo.
- Identificar las necesidades de mantenimiento mayor a los equipos, elaborar justificaciones y controlar su ejecución de acuerdo al programa y recursos asignados, con el propósito de mantener los equipos disponibles y en condiciones óptimas de operación.
- Identificar las necesidades de materiales y asegurar su abastecimiento a través de requisiciones y del establecimiento de niveles de inventarios en almacén, con el propósito de garantizar su disponibilidad para la ejecución de los programas de mantenimiento.
- Seguimiento a la actualización de los registros de mantenimiento, modificaciones realizadas a los equipos, mano de obra y materiales aplicados en los trabajos realizados, con el fin de contar con información confiable para efectos de planeación y detectar equipos con problemas que justifiquen su reemplazo.
- ? Identificar y dar seguimiento a las requisiciones de trabajo solicitadas a talleres internos y externos. Así como proporcionar las especificaciones técnicas necesarias para garantizar que los trabajos se realicen con la prioridad, calidad y costos adecuados, para el cumplimiento de sus programas de trabajo y para asegurar que los equipos reparados operen eficientemente.
- Identificar equipos con problemas y fallas repetitivas, analizar y determinar causas que permitan tomar las medidas correctivas y preventivas necesarias, con el propósito de asegurar su continuidad de operación y óptimo funcionamiento.

- Es responsable de implementar las pruebas necesarias a los equipos reparados y de su funcionamiento. Con el fin de detectar problemas, corregirlos oportunamente, evitar paros no programados y pérdida de producción.
- Participar en el plan de capacitación y adiestramiento del personal de mantenimiento y producción, sobre la operación de los sistemas y equipos de control de procesos.
- Participar en la selección, instalación y puesta en operación de los equipos de control de proceso con el personal de ingeniería y mantenimiento, con el propósito de asegurar que cumplan con su función en los procesos.
- Participar en la identificación, desarrollo y ejecución de proyectos de reducción de costos y mejoras a los equipos y sistemas de control de procesos, con el fin de optimizarlos y mantenerlos actualizados.
- Participar en los reportes de niveles de radiación de las fuentes radiactivas de acuerdo con los estándares y frecuencias que marca la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).
- Suministrar servicio permanente de emergencia dentro y fuera de horario normal de trabajo a los sistemas de control de proceso, con el propósito de mantener la continuidad de los procesos de manufactura y servicios.
- Respetar, crear y fomentar un sólido respeto a las políticas y procedimientos generales del grupo y específicas de su área con el objetivo de:
 - Participar en la creación y mantenimiento de la cultura organizacional.
 - Apoyar el correcto control de las operaciones que se realizan en el grupo.
 - Proteger los activos de su empresa
- Participar en la elección, instalación y mantenimiento de dispositivos de protección para los equipos e instalaciones que garanticen un funcionamiento seguro de éstos, para protección de los mismos y del personal.
- Implementar y dar seguimiento a la aplicación de las herramientas del Sistema de Prevención de Pérdidas (SPP) y los elementos del Sistema de Administración y Evaluación de Seguridad (SAES) con objeto de garantizar al máximo la integridad física del personal y los activos de la Compañía.
- Analizar problemas de Prevención de Pérdidas, fallas en la implementación de los Sistemas, documentar alternativas de solución, análisis de beneficios y costos, y programación de acciones para una toma efectiva de decisiones.
- Verificar y evaluar resultados de la implementación de los Sistemas.
- Dirigir y coordinar pláticas de Seguridad.
- Recibir retroalimentación del personal con respecto a cuestiones de Seguridad e impartir *Coaching*.
- Cumplir con lo indicado en el Reglamento General de Seguridad de la Planta, con lo especificado en procedimientos e instrucciones de trabajo y con las normas internas de su área.
- Fomentar conciencia de confidencialidad, con el objetivo de evitar fugas de información que represente pérdidas de oportunidades para el grupo o generar conflictos.
- Crear conciencia de identificación de oportunidades de ahorro, con el propósito de ser productores de bajo costo.
- Asegurar el registro y disponibilidad de experiencias que sirvan como material de consulta para la solución de problemas.
- Mantenerse informado sobre filosofías y principios del grupo, con el propósito de contar con personal plenamente identificado con los objetivos del grupo y lograr su mejor participación.
- Iniciar acciones en los procesos, para prevenir la aparición de no conformidades relativas a los productos y servicios del Sistema de Aseguramiento de la Calidad (SAC).
- Identificar en los procesos cualquier problema que impacte en la calidad del producto y servicios del Sistema de Aseguramiento de la Calidad (SAC)
- Ejecutar las acciones correctivas y/o preventivas para la corrección de notas de no conformidad, de mejora u observaciones identificadas en las auditorías internas y corporativas.

- Controlar el posterior tratamiento, la entrega o la instalación de un proceso no conforme hasta que se haya corregido la deficiencia o la situación insatisfactoria.
- Aplicar y mantener actualizados los procedimientos del Sistema de Aseguramiento de la Calidad (SAC) y de Control Interno, que los involucren directa y/o indirectamente.

Capítulo 5

Conclusiones

Con la implementación del control distribuido mostrado anteriormente, el mantenimiento mayor y las modificaciones en la máquina de papel; se logró mitigar la obsolescencia de la infraestructura que permite la producción de papel en la fábrica. Adicionalmente, se mejoró el control del proceso y con ello alcanzar un incremento en la producción de papel higiénico y también la producción de papel toalla; convirtiendo a esta línea de producción en una de las mejores con que cuenta actualmente la empresa. Finalmente, cabe destacar que se lograron los siguientes objetivos de producción:

- Actualizar nuestro sistema de control. Con la instalación y puesta en marcha del sistema de control distribuido fue posible poner esta máquina a la par en tecnología de control con las máquinas instaladas en el año 2000 a pesar de haber sido instalada en 1983.
- Mejorar los controles de máquina y la calidad del papel. Para cuando instalamos el sistema de control distribuido empezamos a usar material reciclado, por lo cual se requería implementar sistemas de control para la limpieza de agua usada y de las vestiduras de la máquina, ya que la materia prima que empezábamos a usar estaba muy sucia, esto complicaba mas la producción y calidad del papel.
- Implementar nuevos controles de máquina o modificaciones a los existentes ya no representa un cambio mayor gracias al software del control distribuido implementado.
- Analizar, investigar y solucionar fallas de manera efectiva. Con el sistema de control distribuido tuvimos acceso a investigar las consecuencias de las fallas en la máquina de papel, ya que contábamos con la historia de las alarmas y la tendencia de las variables así como con los mensajes del control distribuido. Estas herramientas nos ayudaron a entender mejor como se presentaban las fallas en la máquina de papel y como mitigarlas.
- Incrementar la producción. Al mejorar el control en la máquina de papel, logramos incrementar la velocidad de dicha máquina y por tanto incrementar la producción. También logramos fabricar toalla en esta máquina, la cual es de un peso mayor e incrementa la producción aún más.

Bibliografía

- [DaSilva, 2012] DaSilva, C. (2012). *Curso de fabricación de papel tissue instructor Edison da Silva Campos revisión 06 2012*. Programa de capacitación continua. s.d. (Citado en páginas 5, 6, 7, 11 y 16.)
- [Honeywell.,] Honeywell. *High-Performance Process Manager HP03500 Honeywell*. Automation Collage. (Citado en página 20.)
- [Honeywell., 1996] Honeywell. (1996). *Universal Station Specification and Technical Data US03500 Honeywell*. (Citado en página 21.)
- [Honeywell., 2006] Honeywell. (2006). *CDWeb Manager 6510020204 Honeywell*. (Citado en página 15.)
- [Honeywell., 2006] Honeywell. (2006). *Intelligent Distributed Pneumatic (IDP) Control 6510020159 Honeywell*. Honeywell. (Citado en página 15.)
- [Honeywell., 2007] Honeywell. (2007). *Devronaizar System Manual 6510020257 Honeywell*. (Citado en página 15.)
- [Honeywell., 2011] Honeywell. (2011). *IR Moisture Measurement 6510020328 Honeywell*. (Citado en página 13.)
- [Honeywell., 2012] Honeywell. (2012). *System Manual Q4000-80 Scanner 6510020330 Honeywell*. Honeywell. (Citado en página 11.)
- [Honeywell., 2013] Honeywell. (2013). *Basis Weight Measurement System Manual 6510020331 Honeywell*. (Citado en página 12.)
- [López, 2001] López, A. (2001). *Tecnología del Papel (apuntes de curso)*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa. s.d. (Citado en página 4.)
- [Tappi, 2016] Tappi (2016). Papermaking science and technology. *Papermaking Science and Technology Book Series*, 2nd Edition- Complete Set:427p. (Citado en página 9.)