

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE VAPOR EN UNA
MÁQUINA PAPELERA UTILIZANDO EL
CONTROL POR PRESIÓN DIFERENCIAL A
TRAVÉS DE UN CONTROL REMOTO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

NOMBRES Y APELLIDOS:

JOEL ÁNGEL PINEDO GAMARRA

PROMOCIÓN 2009-II

LIMA-PERU

2014

Dedico la presente tesis en primer lugar a Dios, por haberme permitido ser persistente en mis objetivos. En segundo lugar a mi padre Manuel Ángel Pinedo Quito quien fue la persona que me inspiró a seguir adelante, a mi madre quien siempre me apoyo y me dio todo su amor, a mis hermanas que siempre confían en mí. Quiero también agradecer al ingeniero Henry Chávez Alpaca quien es un maestro en mi formación profesional y por haberme otorgado su confianza en la empresa papelera Panasa.

CONTENIDO

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Justificación.....	5
1.3. Objetivo.....	6
1.4. Metodología del trabajo.....	6
1.5. Alcances.....	7
1.6. Limitaciones.....	7
CAPÍTULO II: EL PAPEL Y SU PROCESO DE FORMACIÓN EN UNA MÁQUINA PAPELERA.....	8
2.1. Presentación de una máquina papelera.....	8
2.2. Formación del papel.....	15
2.2.1 Historia de la fabricación del papel.....	15
2.2.2 Definición.....	18
2.2.3 Etapas de formación de la pulpa.....	19
2.2.3.1 Batido de la pasta.....	19
2.2.3.2 Cajas reguladoras.....	20

2.2.3.3 Zarandas.....	21
2.2.3.4 Centricleaners	22
2.2.3.5 Deckers.....	23
2.2.3.6 Refinación de la pasta	24
2.2.4 Formación del papel en la máquina papelera.....	25
2.3. Tipos de papel y sus aplicaciones en la vida diaria.....	27
2.3.1 Papel corrugado.....	27
2.3.2 Papel liner.....	28
2.3.3 Papel alcalino.....	29
2.3.4 Papel bond AFPX.....	29
2.3.5 Papel higiénico.....	30
2.3.6 Aplicaciones en la vida diaria.....	31

CAPÍTULO III: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL AGUA EN LA ZONA HÚMEDA EN UNA MÁQUINA PAPELERA.....

3.1. Partes de la zona húmeda.....	33
3.1.1 Distribuidor de pasta.....	35
3.1.2 Caja de entrada o headbox.....	35
3.1.3 Mesa plana.....	36
3.1.4 Tablero de formación o forming.....	38
3.1.5 Hidrofoils.....	39
3.1.6 Vacuum foils	39

3.1.7	Cajas de vacío	40
3.1.8	Rollo Couch de succión.....	41
3.1.9	Sistema de prensas	41
3.1.10	Rendijas.....	43
3.2	Implementación automática del sistema Chorro / Tela.....	43
3.2.1	Principio físico del sistema hidráulico.....	44
3.2.2	Modelamiento matemático del sistema Headbox.....	45
3.2.3	Control de velocidad de chorro de pasta del sistema.....	48
3.2.4	Método de Ziegler Nichols para la sintonización de controladores.....	52
3.2.5	Comparación del sistema antiguo con el nuevo sistema.....	53
3.2.6	Dimensionamiento de la bomba de impulsión.....	57
3.3	Diseño del sistema de vacío en la zona húmeda.....	61
3.3.1	Diseño de las cubiertas en la mesa plana.....	63
3.3.1.1	Cálculo del forming.....	63
3.3.1.2	Cálculo de los hidrofoils.....	64
3.3.2	Dimensionamiento del extractor de vacío para los vacuum foils.....	67
3.3.3	Dimensionamiento de la bomba de vacío en los cajones.....	68
3.3.3.1	Calculo del cfm por caja plana para el nivel máximo 12 " Hg..	68
3.3.4	Dimensionamiento de los separadores de agua.....	70
3.3.5	Dimensionamiento de tuberías de vacío	71

3.3.6 Dimensionamiento del separador de los vacuum foils	72
3.3.7 Dimensionamiento del separador de las cajas de vacío	75
3.3.8 Vacío en la zona de prensas.....	78
CAPÍTULO IV : IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL POR PRESIÓN DIFERENCIAL EN LA ZONA SECA DE LA MÁQUINA DE PAPEL.....	80
4.1 Partes de la zona seca de una máquina de papel.....	80
4.1.1 Cilindro secador.....	81
4.1.2 Sifones.....	82
4.1.2.1 Sifones estacionarios.....	82
4.1.2.2 Sifones rotatorios.....	83
4.1.3 Tanques separadores.....	84
4.2 Cálculo en el sistema atemperador del sistema de vapor y condensado	85
4.3 Selección e implementación del sistema de control por presión diferencial en la zona seca de una máquina de papel.....	88
4.3.1 Sistemas de drenaje moderno y selección.....	88
4.3.2 Sistema de control clásico aplicado.....	95
4.3.3 Implementación del sistema de control por presión diferencial.....	97
4.3.3.1 Saturación del vapor	97

4.3.3.2	Primer grupo	98
4.3.3.3	Segundo y tercer grupo	99
4.3.3.4	Quinto y Sexto grupo	100
4.3.3.5	Tanques separadores	101
4.3.3.6	Flujo de condensado de salida.....	102
4.4	Eliminación del condensado del sistema de vapor y condensado.....	103
4.4.1	Clases de trampas de vapor.....	103
4.4.1.1	Grupo mecánico	103
4.4.1.2	Grupo Termostático.....	106
4.4.1.3	Grupo Termodinámico.....	108
4.4.2	Criterio de selección de las trampas de vapor para nuestro sistema	110
4.4.3	Trampas y ubicación en el sistema de vapor y condensado.....	110
4.4.4	Dimensionamiento de los tanques separadores	114
4.5	Dimensionamiento de las líneas de vapor y condensado.....	116
4.5.1	Cálculo del mayor flujo de vapor	116
4.5.2	Diseño de las líneas de distribución	118
CAPÍTULO V : CONTROL REMOTO DEL SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO		124
5.1	Hardware del sistema.....	124
5.1.1	Controlador micrologix 1400	124
5.1.2	Transmisor de presión.....	125

5.1.3	Transmisor de presión diferencial	126
5.1.4	Convertidor I/P	127
5.1.5	Actuador neumático.....	127
5.1.6	Interfaz hombre – máquina	128
5.2	Software del sistema remoto GP-PRO EX	129
5.2.1	Historiador	130
5.3	Configuración del sistema de control remoto	130
5.3.1	Crear un nuevo proyecto en GP-Pro Ex	130
5.3.2	Generación de pantallas y tags de variables	132
5.3.3	Creación de la interfaz gráfica	132
5.3.4	Programación del controlador.....	135
CAPÍTULO VI : RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO PPX-1		137
6.1	Cálculo del índice Tappi.....	137
6.2	Performance de la máquina de papel.....	139
CONCLUSIONES.....		142
APÉNDICE.....		144
BIBLIOGRAFÍA.....		151

PRÓLOGO

Por reducción del vapor en una máquina papelerera se entiende, en forma general como un conjunto de procesos que se realizan en la zona húmeda y seca con el fin de consumir el menor flujo másico de vapor, manteniendo los estándares de calidad en el terminado final.

El avance experimentado en la industria papelerera permite disponer hoy en día de técnicas y tecnologías que han optimizado el rendimiento energético del uso del vapor. Sin embargo cada diseño de una máquina papelerera consta de sus propias variables que deben ser analizados en campo y estudiados para así evaluar cuál es la mejor opción para mejorar el sistema de secado; Es aquí donde esta tesis juega un rol importante.

La presente tesis es el resultado de combinar la teoría y la práctica guiándonos de los cálculos y la experiencia referente a mejorar el sistema de vapor y condensado de la máquina papelerera, implementando un sistema HMI para la mejor manipulación del proceso.

La estructura de la tesis está dividida en 6 capítulos:

El **capítulo I** comprende la introducción del tema, se presentará los antecedentes, justificaciones, los objetivos, la metodología, los alcances y las limitaciones del trabajo.

El **capítulo II** comprende las generalidades para la elaboración del papel, considerando los procesos principales, adjuntando imágenes para el mejor entendimiento y nombrando los diferentes tipos de papeles producidos en la empresa y su aplicación en la vida diaria.

El **capítulo III** comprende los cálculos pertinentes para la relación chorro/tela, el rediseño de los foils y el dimensionamiento de los separadores de vacío bajo el respaldo de normas internacionales con el fin de extraer la mayor cantidad de agua del papel antes del ingreso al área de secado. Se generará soluciones para la zona de prensas para su mejora con el objetivo de reducir aún más el consumo de vapor

El **capítulo IV** comprende la implementación del control por presión diferencial aplicado a un sistema cascada, para optimizar el secado del papel en la zona seca, además seleccionaremos los sifones y las trampas de vapor para mejorar la eficiencia de secado. Dimensionaremos las tuberías de vapor y condensado y diseñaremos los tanques separadores según proceso.

El **capítulo V** comprende la programación de los lazos de control en el plc y en realizar un sistema HMI que controle el sistema de vapor y condensado de forma remota desde una pantalla.

El sistema de simbología de instrumentación se basará en las normas ISA S5.1.

El **capítulo VI** comprende el estudio de la eficiencia de secado según normas internacionales Tappi y expondremos los resultados obtenidos en el sistema de la máquina PPX-1.

En la parte final se expondrán las conclusiones a las que se llegó después de desarrollar la tesis. En el apéndice se colocarán los programas que se usaron en los controladores y artículos que sirvieron de respaldo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

La energía es escasa y cara en todas sus formas, por lo que se requiere atención especial, no solo evitar todo tipo de derroche, sino, se tiende a reducir el uso de la misma, sin sacrificar la calidad del producto.

En la industria papelera, como en cualquier otro caso, creemos que, con el uso restringido de lo indispensable, eliminación de fugas, una adecuada recuperación de condensado, simplificación en la concepción y diseño de algunos elementos es posible reducir los consumos de vapor y obtener ahorros considerables.

Fue por eso la necesidad de la planta de contar con un sistema termodinámico apto para su proceso, aplicando la metodología de control clásica, rediseñando secciones del área húmeda y mejorando la operación a través de un control remoto o HMI que permita acoplar las variables de proceso para la toma de decisiones en la operación.

Calcularemos nuestros índices de consumos y mediante un benchmarking del proceso determinaremos que tan eficiente somos en relación con otras plantas.

1.2. Justificación

Mejoraremos nuestro sistema de consumo de vapor, atacando los dos frentes principales, el primero en el cual todos o la mayoría le toma atención es el sistema de distribución del vapor y recuperación de condensado, y el otro frente, aún de mayor importancia y que muchas veces es dejado de lado se encuentra en el rediseño de la zona húmeda.

Para el primer frente rediseñaremos el sistema de vacío de la mesa húmeda siguiendo las normas propuestas por TAPPI (Organismo en la fabricación de papel), proponiendo la implementación del sistema automático Jet & Wire (chorro/tela), rediseñando los foils, los separadores y respetando la curva de vacío para la buena extracción del papel.

Para el segundo frente aplicaremos la estrategia de control clásica (PID) para implementar una topología sobre el sistema llamada, control por presión diferencial, el cual consiste en controlar la diferencial de presión de desalojo de condensado y la presión de entrada de vapor al sistema teniendo cuidado de no provocar inundamiento debido a la retención de condensado en los secadores, provocado por una diferencial de presión baja o una diferencial de presión alta que pueda provocar mayor consumo de vapor por generar mayor flujo de arrastre de vapor en los sifones de los secadores. El control también permitirá que el vapor en uso posea las mejores características para el secado del papel, el lazo de control de temperatura será de vital importancia para optimizar el consumo de vapor.

1.3. **Objetivos.**

1.3.1 **Objetivos General.**

Reducir el consumo de vapor de la máquina de papel.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

- Controlar en forma automática la relación Jet & Wire (chorro/tela) a la salida del cajón de entrada de pasta a máquina
- Rediseñar los elementos importantes de la zona húmeda de la máquina.
- Implementar el sistema de control por presión diferencial en el sistema de vapor y condensado de la máquina PPX-I.
- Implementar un sistema HMI para la manipulación remota del sistema.
- Comparar los datos obtenidos con los índices internaciones TAPPI.

1.4. **Metodología del trabajo.**

Con respecto a la metodología empleada en la presente tesis, en los dos primeros capítulos se hace una descripción sencilla de los puntos previos que se consideran importantes para la formación del papel.

En los capítulos III, IV y V se presenta el tema principal de este documento.

En el capítulo VI estudiaremos la performance de la máquina papelera después de aplicar los objetivos de esta tesis en estudio y los compararemos con estándares internacionales Tappi.

En cada uno de los capítulos se presentan figuras, imágenes, tablas y/o cuadros para una comprensión precisa y clara. Adicionalmente se anexa información referente a la programación de los controladores y artículos técnicos.

1.5. **Alcances.**

Este estudio se realiza con el propósito de dar a conocer la importancia que tiene las dos zonas, tanto húmeda como seca, aprovechándose al máximo la energía térmica producida, además nos permite aprovechar nuevas tecnologías actuales como la computadora, controladores digitales y software para realizar un sistema de fácil operación y entendimiento.

1.6. **Limitaciones.**

En este estudio no se tocará el tema del diseño de la capota en la máquina papelera, así como el diseño y operación de los fieltros, además del sistema de ventilación de bolsillos o pocket ventilation implementado con buenos resultados en la zona seca de la máquina de papel.

CAPÍTULO II

EL PAPEL Y SU PROCESO DE FORMACIÓN EN UNA MÁQUINA PAPELERA

2.1 Presentación de una máquina papelera.

Las figuras siguientes muestran la etapa de formación del papel en su etapa final llamada máquina papelera, cabe resaltar que las figuras mostradas a continuación solo representan la formación del terminado final como es el papel y no la formación de la pasta, tema que será comentada líneas abajo.

Los gráficos siguientes fueron realizados en un dibujo 3D utilizando la herramienta Solidworks, con la finalidad de describir mejor sus partes.

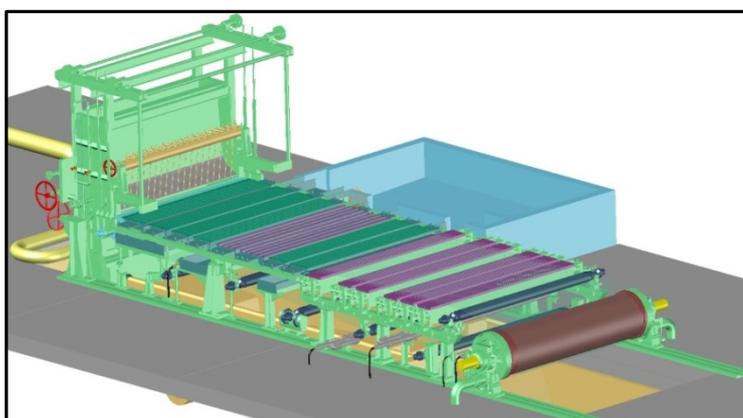


Fig. 1. Mesa plana Fourdrinier con caja de entrada abierta.

La zona húmeda de una máquina papelera se encuentra formada por un headbox abierto o tanque cabecera de máquina donde la pasta diluída a una consistencia entre 0.5 a 1% es inyectada a la tela de formación (Ver **Fig.1**).

El control de la consistencia es muy importante en la zona del headbox pues variaciones importantes pueden afectar al peso del papel. El control de la consistencia en el cajón de entrada depende mucho del tipo de papel a producir por ejemplo para papeles Liner se suele trabajar desde 0.6% a 0.9% y en papeles para bolsas aún se trabaja con consistencia menores de 0.15%.

En la mesa plana una serie de foils se encargan de drenar el agua que contiene la pasta, un Dandy roll mejora la formación del papel de la capa superior y un Couch o rollo de succión se encargará no solo del movimiento de todo el fieltro sino de extraer el agua del papel por vacío inducido por bombas de anillo líquido. La ubicación y forma de los foils respeta un sentido de la formación de la pasta en dirección máquina.



Fig.2. Disposición de elementos de drenaje en la mesa plana.

La **figura 2**, es una representación de las partes que forman la zona húmeda en una máquina papelera formada por la mesa plana descrita en la **figura 1**. La figura muestra detalle de la zona de hidrofoils, cajones de bajo vacío o vacuum foils y cajas de alto vacío o planas.

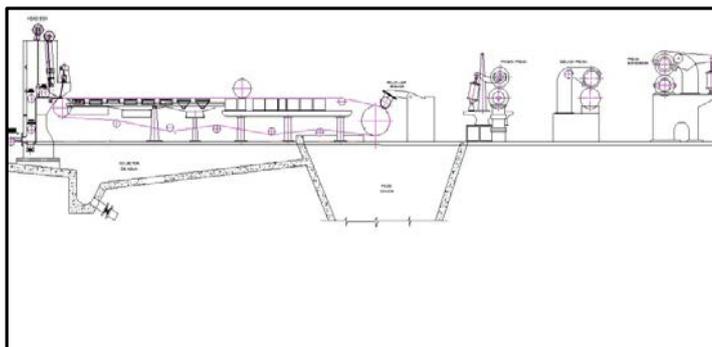


Fig.3. Zona húmeda de una máquina papelera.

La **figura 3**, es una representación de las partes que forman la zona húmeda en una máquina papelera formada por la mesa plana y la zona de prensas cuya función principal es también extraer el agua contenida en el papel por medios mecánicos y vacíos inducidos. También lo acompaña el Lumbreaker que es un rollo de jebe en el cual se aplica presión mecánica para extraer la humedad del papel.

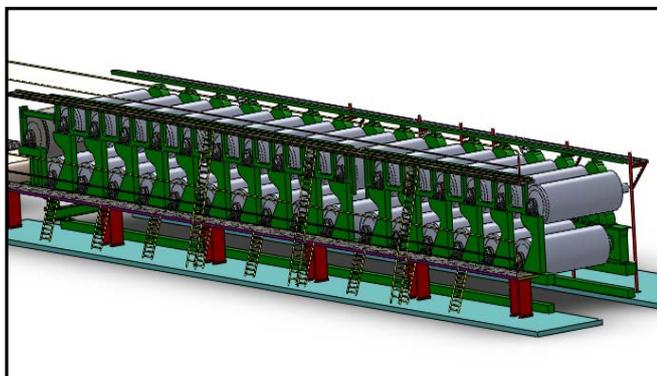


Fig.4. Zona seca lado operación.

La **figura 4**, es una representación de la zona seca de una máquina papelera formada por cilindros secadores de hierro fundido los cuales interiormente se les inyecta vapor por medio de sifones rotatorios con el fin de que la hoja sea trasladada por su periferia y pueda secarse gradualmente por transferencia de calor.

Cada uno de estos cilindros descansan en chumaceras debidamente lubricadas. Debido al movimiento rotatorio continuo, se tienen mucho cuidado en el sistema de lubricación bajo la supervisión de presostatos y flujómetros en línea.

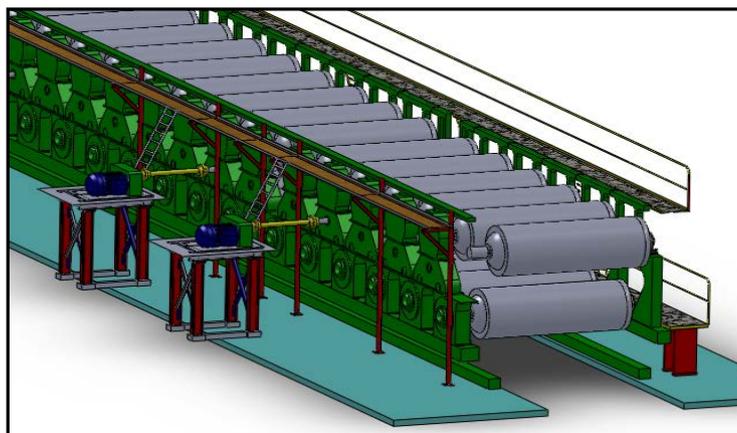


Fig.5. Zona seca lado motriz.

La **figura 5**, es una representación de la zona seca lado motriz. Se observa que los secadores son divididos en grupos, cada grupo es movido por motores de corriente alterna, los cuales son accionados por variadores de velocidad para tener un amplio rango de manejo. Cada grupo contiene una serie de engranajes que permiten que todos los secadores pertenecientes al grupo eléctrico posean la

misma velocidad, esto es debido al juego de piñonería que posee que les permite mantener la relación de velocidad en relación 1:1, mostradas en la **figura 6**.

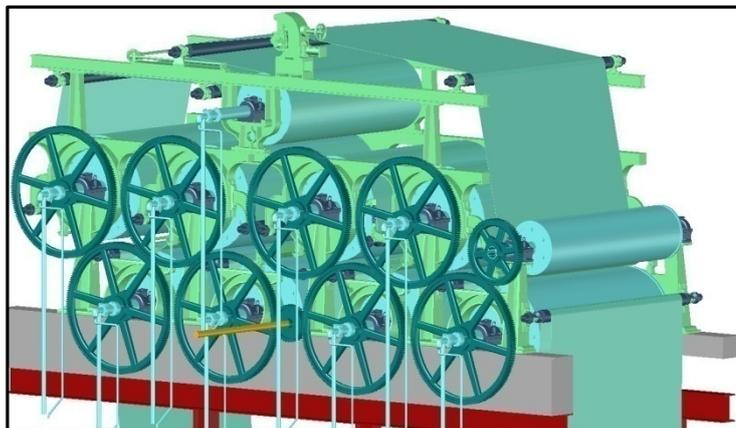


Fig.6. Transmisión mecánica zona seca.

El accionamiento de una máquina papelera tiene como función primordial mantener velocidades constantes entre los grupos de accionamiento, con ciertas correcciones de velocidad de acuerdo al comportamiento de la hoja en el proceso, debido a comportamientos físicos del papel como los efectos de contracción o termodinámicos del proceso, a la corrección de velocidad electrónica de cada grupo se le llama en el rubro paplero como **TIRO** y suelen ser accionadas en forma análoga a través de potenciómetros o en forma digital a través de pulsos digitales ubicados en los HMI en las secciones de la máquina de papel. Hoy en máquinas modernas existen los accionamientos libre de ruidos o llamados Silent drive, cuyo objetivo principal es realizar el accionamiento de fieltros y secadores a través de los rodillos de fieltros con un nivel de tensión y abrazamiento, eliminando la piñonería interna de transmisión y los reductores que acompañaban al accionamiento.

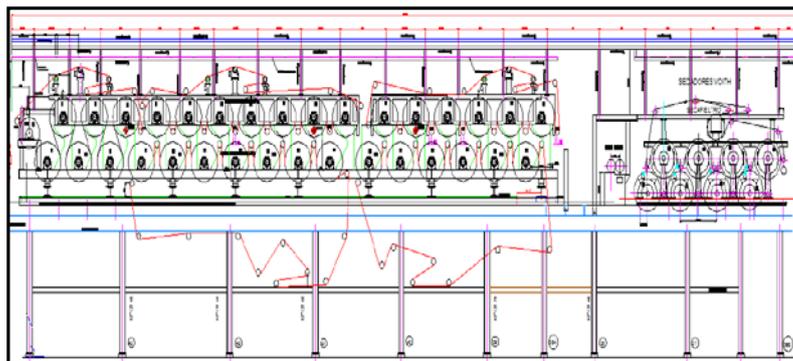


Fig.7. Grupos secadores de la zona seca.

La **figura 7**, es una representación más general donde se observa que cada grupo secador está formado por fieltros los cuales conducen el papel de un lado a otro. Se observa todo el trayecto del fieltro y las transmisiones mecánicas que existen. La zona seca además de los cuatro grupos secadores está formada por la sizepress, las calandrias y bobinadora respectivamente.

Los fieltros tienen la función de transportar el papel y de absorber la humedad similar a una esponja, en muchas otras máquinas suelen usarse secafieltros para mejorar las condiciones de humedad del fieltro. Es importante saber que las condiciones de la tela con los fieltros son diferentes, la tela suele ser de un material más flexible y con capacidad para drenar el agua y estar sometida a tensiones producidas por el vacío. Los fieltros usados en la zona seca tienden a absorber el agua y soportar mayores temperaturas. Estos tejidos cuyo diseño tienden a ser más resistentes y porosos, tienen por objetivo aumentar el tiempo de vida media de ellos.

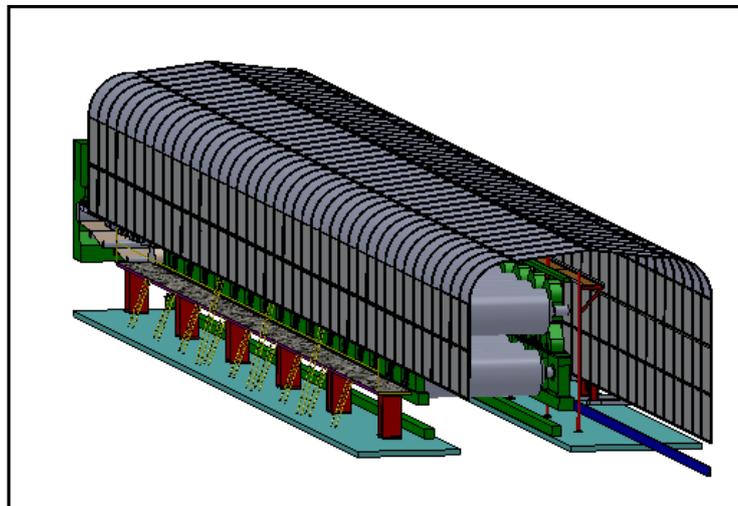


Fig.8. Capota de la máquina papelera.

La **figura 8** representa la cubierta superior llamada capota cuya finalidad primordial es mantener un ambiente lo más adiabático posible, que permita ayudar en el secado del papel. Es importante tener claro que la capota tiene además la función de no dejar escapar el vapor de agua manteniéndolo en un ambiente cerrado para su desalojo por los extractores de aire.

La capota está construida de planchas de aluminio debidamente empernadas una tras otra, en la parte superior suelen subdividirse el espacio con tecnopores para conservar la energía el mayor tiempo posible dentro del ambiente de secado antes de que se sature y sea extraído por los extractores de aire saturado. Manteniendo humedades absolutas por debajo de $0.2 \frac{Kg \text{ vapor agua}}{Kg \text{ aire}}$ se obtiene un entorno saturado con el mejor aprovechamiento de la energía térmica, estos

controles pueden lograrse incorporando transmisores de humedad absoluta y variadores de velocidad en la extracción.

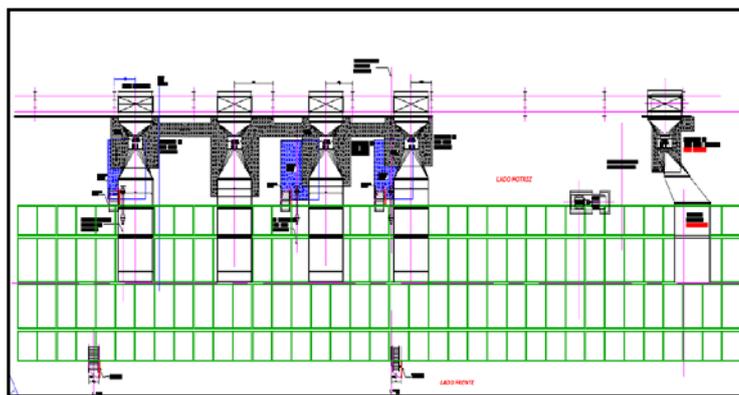


Fig 9. Distribución de los extractores de vapor de agua.

La **figura 9** representa una vista de planta de la distribución de los extractores cuya función es eliminar el vapor de agua producido por el papel antes de que este vapor pueda condensarse causando rotura de papel en el sistema. Cada uno de estos extractores debe estar debidamente posicionados con tendencia a extraer la mayor cantidad de vapor de agua en las zonas de secado I y II debido a que la humedad absoluta es alta.

2.2 Formación del papel

2.2.1. Historia de fabricación del papel.

La invención del papel comienza originalmente para uso de escritura usando el pincel y tinta. Hoy en día a cambiado y el papel es uno de los inventos más importantes que el hombre ha creado y todo un arte el poder procesarlo.

El papel tuvo su nacimiento en Egipto que con su maravilloso ingenio desarrollaron el papiro que eran láminas sacadas del tallo de esa planta que abundaba en el Nilo, es por eso que del nombre de esa planta que derivó la palabra papel.

La invención del papel sin embargo se le atribuyó a los chinos, hace más de 2000 años Taai-Lun después de experimentar con una infinidad de fibras eligió al bambú y trapos viejos, primero los ablandaba con cal dejándolos fermentar al sol y luego los machacaba sobre una roca valiéndose de un trozo de madera dura. Diluía las fibras con agua en una bandeja para formar una pasta ligera y usando unos marcos, con un filtro de seda extraía la cantidad necesaria, balanceando después los marcos suavemente hasta distribuir uniformemente las fibras y drenar el agua, después los secaba al sol y suavizaba las superficies con piedras pulidas.

El secreto de la fabricación del papel quedo encerrada en la China casi por 600 años hasta que los árabes llegaron a invadirla, luego alrededor del siglo XII la técnica de fabricación llegó a Europa. El método de machacar para separar las fibras vegetales sufrió un cambio alrededor del año 1000 recibiendo la industria un pequeño impulso en su desarrollo. En este tiempo se inventó el molino de martillo que consistía en simplemente un mazo pesado que era levantado sobre un pivot central y luego se dejaba caer por gravedad valiéndose de un eje rotatorio con varios pines en su superficie.

El invento holandés fue una solución afortunada, porque los viejos molinos de martillo ya no alcanzaban a satisfacer los requerimientos de la industria.

Básicamente el invento Holandés no ha cambiado mayormente desde entonces. Originalmente como ahora era una bandeja alargada dividida por una pared central para tener un canal o pista, alrededor de la cual se hacía pasar la pulpa bajo el impulso de un tambor giratorio en cuya superficie se acondicionaban barras de fierro. El tambor giraba sobre una plancha acondicionada también con barras produciendo entre ambas un desmenuzamiento del material, especialmente trapos viejos. Ya por ese entonces se había agregado el prensado de la hoja de papel a la línea de producción. El gran momento de la industria llegó en 1799 con Louis Robert quien inventó lo que podría decirse la primera máquina de papel. Aunque fue una máquina rudimentaria, fue un buen comienzo. El principio de drenado de la hoja era el mismo que en los marcos de formación. Lo revolucionario era que se producía una hoja continua de papel. Desde una bandeja una rueda de paletas recogía una pulpa aguada y la lanzaba hacia una tela de alambre rotativa a través de la cual drenaba el agua. La hoja húmeda pasaba a través de una prensa.

Posteriormente el invento pasó a Inglaterra donde fue desarrollado por los hermanos FOURDRINIER. La industria ha honrado su contribución designando su nombre a este tipo de máquinas. Muy poco después alrededor de 1809 DICKINSON inventó la máquina de cilindros que es el otro tipo básico de máquinas papeleras. Una máquina de esta clase fue la primera máquina que llegó a América. Los cilindros secadores fueron introducidos en Inglaterra en 1823 y casi inmediatamente se usaron en América. Con adición de los cilindros secadores se formó la primera máquina de operación continua ya que la hoja

podría ser formada, prensada y secada en una sola operación independiente del secado atmosférico.

Por la segunda mitad del siglo XIX vio la primera contribución química en la industria. Dos ingleses en 1851 hirvieron astillas de sauce en una solución de lejía y obtuvieron así la pulpa a la soda, esto es, la primera fibra para fabricar papel producidos por medios químicos.

Este método con algunas modificaciones derivó en Kraft o Sulfato y más adelante el proceso sulfito.

Hoy en día la velocidad de las máquinas modernas está por encima de los 1200mpm.

2.2.2. Definición.

El papel es un tejido formado esencialmente por fibras vegetales distribuidas uniformemente lo más homogéneamente posible. Estas fibras celulósicas pueden provenir desde el bagazo provista por la caña de azúcar hasta los árboles de eucaliptos, la diferencia de escoger una u otra materia prima está en la selección del tipo de fibra ya sea larga o corta que nos pueda proveer el vegetal. Estas fibras luego mezcladas con agua se alimentan a una malla plástica o metálica y son sometidas a continuo movimiento en una mesa plana, la pasta diluída a una consistencia alta luego es sometida a todo un sistema de limpieza a través de centricleaners y zarandas que se encargan de limpiar las impurezas, para cada proceso se controla la consistencia mediante agua de dilución, luego la pasta es bombeada por bombas centrífugas a la máquina , la pasta es enviada

a la caja de entrada que se encarga de recibir la pasta y alimentar a la tela de formación donde el agua drena depositando las fibras en forma uniforme. Las fibras en forma de una hoja húmeda luego son sometidas a vacíos autoinducidos y luego a presión para tratar de extraer la mayor cantidad de agua para que posteriormente sean secados en los cilindros calentados previamente con vapor.

2.2.3. Etapas de formación de la pulpa.

La preparación de la pasta abarca una serie de procesos, la pulpa en todo ese proceso es tratada mecánicamente y químicamente para la obtención del terminado final que es el papel. A continuación hablaremos de cada proceso.

2.2.3.1 Batido de la pasta.

Tiene como objetivo realizar la mezcla de diferentes materiales como es a veces kraft+bagazo o batir la pulpa de madera provenientes en fardos agregando agua para desmenuzar toda la pulpa. El batido suele realizarse en inmensas tinajas de fierro fundido llamadas hidropulpers y fiberpulpers, comúnmente llamado **desmenuzadores**. Ambos conocidos como pulpeadores consisten de grandes recipientes metálicos en forma de copa compuesto en la parte inferior por un agitador rotativo provisto de cuchillas montado sobre un eje vertical. Alrededor del agitador hay unas planchas metálicas perforadas a través de las cuales sale la pulpa diluída en agua después de ser desmenuzada. Las planchas retienen los trozos grandes de alambres, plásticos y cuerpos extraños que son indeseables en el proceso. Su capacidad depende también de la consistencia a la que se trabaja y del tiempo que el papel espera para ser desmenuzado. Obtenida la dilución de la pasta,

la pulpa pasa por orificios en las placas de extracción e ingresa a la cámara de extracción de allí es llevado a la caja reguladora. El ducto de salida de los hidropulpers puede estar conectado a un tanque cuya función se basa en dos principios, medir en forma indirecta el nivel del pulper y no permitir que en las descargas y cargas pueda introducirse aire lo cual afectaría a la bomba causando erosiones en el impulsor. Ver fig. (10).

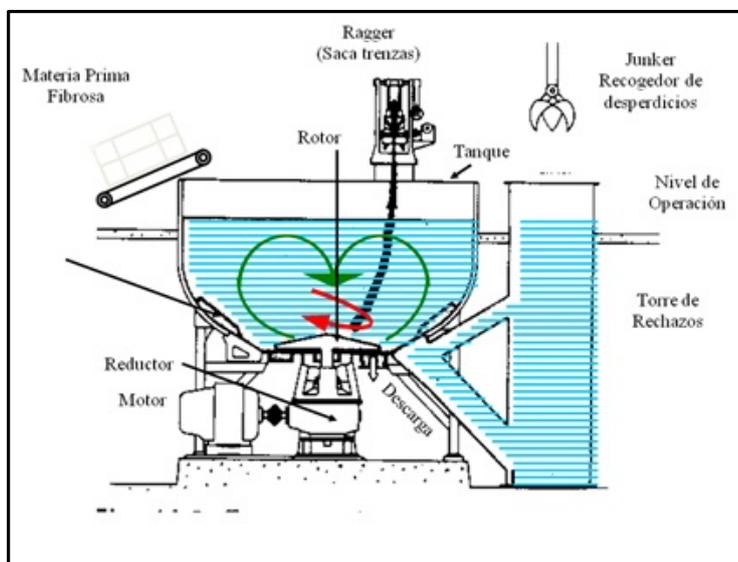


Fig 10.Desmenuzador de pulpa.

2.2.3.2 Cajas reguladoras.

En las cajas reguladoras la pasta es diluida al 1.1% de consistencia con agua plenamente tratada y es alimentada a la succión de la bomba pulpera donde es bombeada a las zaranda. La caja reguladora también tiene la función de eliminar turbulencias en el flujo de pasta estabilizando a una presión de alimentación controlada en la bomba de inyección de pasta a máquina. Ver Fig. (11).



Fig. 11. Cajón de nivel.

2.2.3.3 Zarandas.

Sirven para eliminar los gruesos extraños contenidos en la pasta y cuyos rechazos son bombeados a una zaranda vibratoria Johnson para extraer la fibra que está adherida a las impurezas, pasando sus aceptados nuevamente al pulpeador y las impurezas a la caja de desechos. Ver Fig. (12).



Fig.12.Zaranda bird vertical.

2.2.3.4 Centricleaners

Son limpiadores centrífugos de alta eficiencia. Están formados por un cuerpo superior cilíndrico y un cuerpo inferior cónico. La pasta entra lateralmente por la parte superior adquiriendo un movimiento circular y moviéndose en espiral de arriba hacia abajo a lo largo de las paredes del cilindro. Al llegar al cuerpo inferior más estrecho, el movimiento de la pasta se invierte subiendo por el centro hasta la parte superior y sale por un tubo central. La separación de las impurezas se efectúa debido a las fuerzas circulares o centrífuga que lanza las partículas más pesadas contra las paredes del limpiador obligándolas a salir por la parte inferior donde se acumula para eliminarlas cada cierto tiempo. Ver Fig. (13).

Los centricleaners están divididos en varias etapas como son:

- **Centricleaners primarios** cuyos aceptados van a la bomba fan, el cual toma la pasta con parte de agua de dilución para bombear a la máquina.
- **Centricleaners secundarios** y sus rechazos pasan a los centricleaners terciarios cuyos aceptados pasan a juntarse con los rechazos de los primarios y rechazos de los terciarios son eliminados.
- **Centricleaners terciarios** cuyos aceptados van alimentar a los centricleaners secundarios y sus rechazos suelen ir a un desarenador donde se elimina la arenilla del agua, el cual es recirculada al pozo Couch.



Fig.13. Limpiadores de pasta por centrifugación.

2.2.3.5 Deckers.

Son espesadores donde se elimina una gran cantidad de agua. Seguidamente la pasta ya limpia pasa a los tanques de pasta con una consistencia de 3 a 4 % para ser utilizada, constituyendo la fórmula para la preparación de la pasta que irá a las tinas mezcladoras. Ver fig (14).



Fig 14. Deckers o espesadores de pulpa.

2.2.3.6 Refinación de la Pasta.

El proceso de refinación tiene por objeto desarrollar en las fibras características de resistencias requeridas. En este proceso las fibras suspendidas en agua se trabajan mecánicamente en máquinas que las someten a trituración y corte durante el tiempo que sea necesario. Bajo este proceso las partes de las fibras absorben agua se hinchan y se aflojan. Esto da como resultado en la superficie de cada fibra pequeñísimas fibrillas llamadas **fibrilas**. Ver fig (15-16), las que lógicamente aumentan la superficie de la fibra en contacto con el agua y ayudan a retenerla y adherirse a otras fibras, por esta razón la formación de las fibrilas mejora las características del que dependen la adhesión de una fibra con otra tales como resistencia al reventar y a la tensión además de la opacidad por que al estar más adheridas el paso de la luz es menor. Al mismo tiempo la fibrilación y el hinchamiento de la fibra aumentan la retención del agua y hacen más lento el escurrimiento de ésta. Este hecho se aprovecha para determinar el grado de refinación de una pasta, midiendo la velocidad con que se escurre el agua contenida en una cantidad de pasta a una consistencia y temperatura preestablecida. Este grado de refinación lo llamamos **Freeness**.

Luego de lograr la refinación adecuada la pasta llega a un tanque al que nosotros llamaremos mezclador y se designa como tanque de pasta para máquina.



Fig.15.Refinador de pasta para la formación de fibrilas.

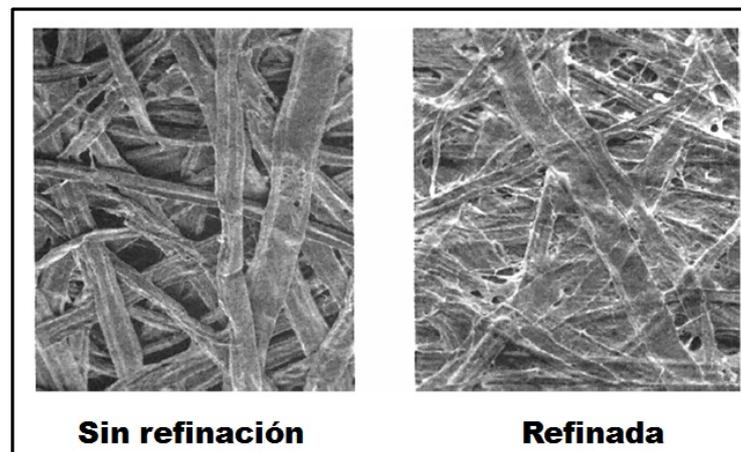


Fig.16. Efecto de refinación en la pulpa.

2.2.4 Formación del papel en la máquina papelera

Luego de haber refinado la pasta y pasado por los procesos de limpieza la pasta aceptada es enviada a la máquina a través de la bomba Fan. Esta toma

una porción de agua de un tanque Silo y la envía hacia el headbox .Una vez en el headbox el flujo de pasta se estabiliza. El flujo estabilizado de pasta pasa entonces a través de un orificio ajustable llamado regla, sobre una tela plástica o metálica móvil como muestra la **figura 17**. La tela viaja alrededor y entre dos grandes rodillos, el rolo cabecero que es sólido y el cilindro de accionamiento de tela. En esta zona húmeda se debe separar por succión la mayor cantidad de agua posible atrapada en la hoja antes de que pase a la sección de prensas, en esta sección de prensas se elimina el agua por presión mecánica y vacío. Luego la pasta pasa por unos cilindros rotatorios donde son secados por transferencia de calor al inyectarle a los cilindros huecos vapor a una condición de saturación. Existe una zona intermedia donde se le añade productos químicos como encolado con la finalidad de mejorar la no penetración del agua en el papel, pasando luego a la zona de calandrias donde suele darse una suavidad a costa del espesor, luego pasa por una bobinadora que se encargará de formar las bobinas. Por último pasará a una rebobinadora que dimensionará las bobinas al pedido del cliente.



Fig.17. Caja de entrada abierta mesa plana PPX 1.

2.3 Tipos de papel y sus aplicaciones en la vida diaria.

Existe una variedad de tipos de papeles por ejemplo:

Papel Kraft, Papel Vegetal, Papel Tissue, Papel corrugado, Papel Cartulina, etc... Sin embargo estudiaremos los tipos de papel fabricados en la empresa papelera Panasa.SA.

2.3.1 Papel corrugado.

Los tipos de papeles corrugados van desde 100 gr/m² hasta 250 gr/m². La materia prima principalmente son papeles de recicló y a diferencian de los papel tipo liner se basa en conseguir propiedades de cóncora que permitan que las fibras puedan soportar esfuerzos de compresión verticales de alrededor 200 Newton. La velocidad de producción va desde 190 a 250mpm. La máquina que realiza este tipo de papeles es la PPX-1.

Una serie de característica son evaluadas en el papel luego de su formación en la máquina papelera características como:

- Gramaje : 100gr/m²
- Espesor : 190 um
- Humedad :8-9%
- Cóncora: 200 N
- CFC-O : 210 N
- Ring crush DC : 0.8 KN/m
- Cobb top 120 seg: 35 gr/m²
- Cobb back 120 seg : 35 gr/m²

Estas son características analizadas en el departamento de control de calidad para que el papel cumpla los requerimientos del cliente.



Fig.18.Papel corrugado.

2.3.2 Papel liner.

Los tipos de papeles corrugados van desde 110 gr/m² hasta 250 gr/m². La materia prima principalmente son papeles de reciclado y DKL. La propiedad mecánica importante a conseguir es el RCT (Kn/m). La velocidad de producción va desde 190 a 280 mpm. La máquina que realiza este tipo de papeles es la PPX-1.

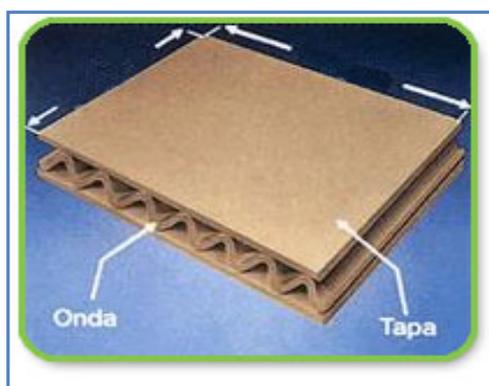


Fig.19. Liner usado en cajas de cartones.

2.3.3 Papel Bond Alcalino.

Su gramaje se encuentra en los 54gr/m². Se suele usar como materia prima 100% pulpa de madera importada. La velocidad de producción varía de 480 a 530 mpm. La máquina que realiza este tipo de papeles es la PPX-5.



Fig 20. Realizamos cuadernos Justus y Loro.

2.3.4 Papel bond AFPX.

Es un papel más seco usado como papel fotocopia, impresiones laser, papeles tamaño oficio con un gramaje aproximado de 75, 80 y 90gr/m². Este papel necesita una sequedad mayor, el porcentaje de consumo de vapor comparado con el alcalino crece considerablemente. Una de las propiedades importantes es mantener el curl del papel con una sequedad uniforme en ambas caras que no permita que el papel se curve en las impresiones.

También se puede agregar una marca de agua a la hoja para efectos de calidades especiales del cliente. La máquina que realiza estos papeles es la PPX-5.



Fig.21. Papeles usados para impresión.

2.3.5 Papel Higiénico.

Papel cuyo gramaje varía desde los 16 gr/m² a 24 gr/m² .Se utiliza como materia prima una mezcla de papel Kraft, y reciclo debidamente calculado a las características físicas que pide el cliente. La velocidad de producción varía desde 200 mpm a 600 mpm. La máquina que realiza este tipo de papeles es la PPX-6.



Fig. 22. Papel higiénico usado en sanitario.

2.3.6 Aplicaciones en la vida diaria.

- **Corrugado y Liner:** Ambos papeles son utilizados para la formación de cartones, el corrugado es utilizado en las ondulaciones que posee el cartón y con el liner se generan las tapas que cubren el corrugado formando la galleta o plancha de cartón. Dependiente del peso a cubrir los cartones pueden ser fabricados de doble hasta triple corrugado lo que genera mayor resistencia a impactos y pesos. Los cartones son utilizadas en productos alimenticios, electrodomésticos, galletas, etc...

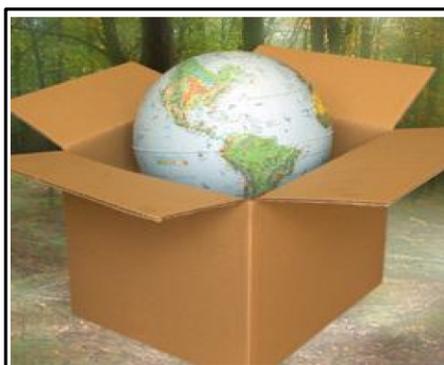


Fig. 23. Cartón de corrugado simple.

- **Papel Bond e Impresión:** Ambos papeles utilizados para fabricar papeles de escritura y papeles para impresión o llamada AFPX. Los papeles para escritura utilizados para la fabricación de cuadernos conocidos en el mercado nacional como Justus, Loro, College abarcan desde gramajes de 60 gr/m^2 con humedades de 7% , mientras los papeles de impresión abarcan gramajes desde 80 gr/m^2 con una humedad entre 4 a 5%.

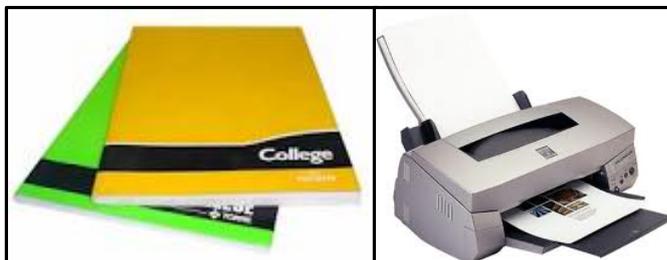


Fig. 24. Aplicaciones de bond en cuadernos e impresión.

- **Papel Higiénico:** Papel de bajo gramaje alrededor de 16 gr/m^2 muy usado en los sanitarios para uso personal. También se fabrican con cierta resistencia los papeles de servilleta o papel toalla para el secado de manos y rostro, muy usados en los supermercados cuya propiedad importante es la resistencia en húmedo que deben poseer.



Fig. 25. Papel toalla en baños públicos.

CAPÍTULO III

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE AGUA EN LA ZONA HÚMEDA EN UNA MÁQUINA PAPELERA

3.1. Partes de la zona húmeda.

Una parte vital en la eficiencia para la extracción del agua del papel y consumo de vapor se manifiesta en la zona húmeda de la máquina papelera.

Como mencionamos anteriormente la zona húmeda es la primera etapa de la entrada de la pasta a máquina y consiste en la formación del papel y extracción del agua por medio de vacíos autoinducidos mediante el diseño de forming e hidrofoils y forzados con el uso de extractores y bombas de vacío.

Por experiencia realizada en la empresa un punto importante para disminuir el consumo de vapor se encuentra en esta etapa, con un buen diseño lograremos un ahorro sustancial de vapor en la zona seca ,el cual es el objetivo de esta tesis. Es importante nombrar que lograríamos un importante descenso del vapor si cambiáramos nuestro sistema de prensas por un sistema Jumbo Press el cual trabaja a 280 KN/m, cuatro veces más del nip del cual trabajamos hoy en día. Este proyecto se está estudiando hoy en día por gerencia.

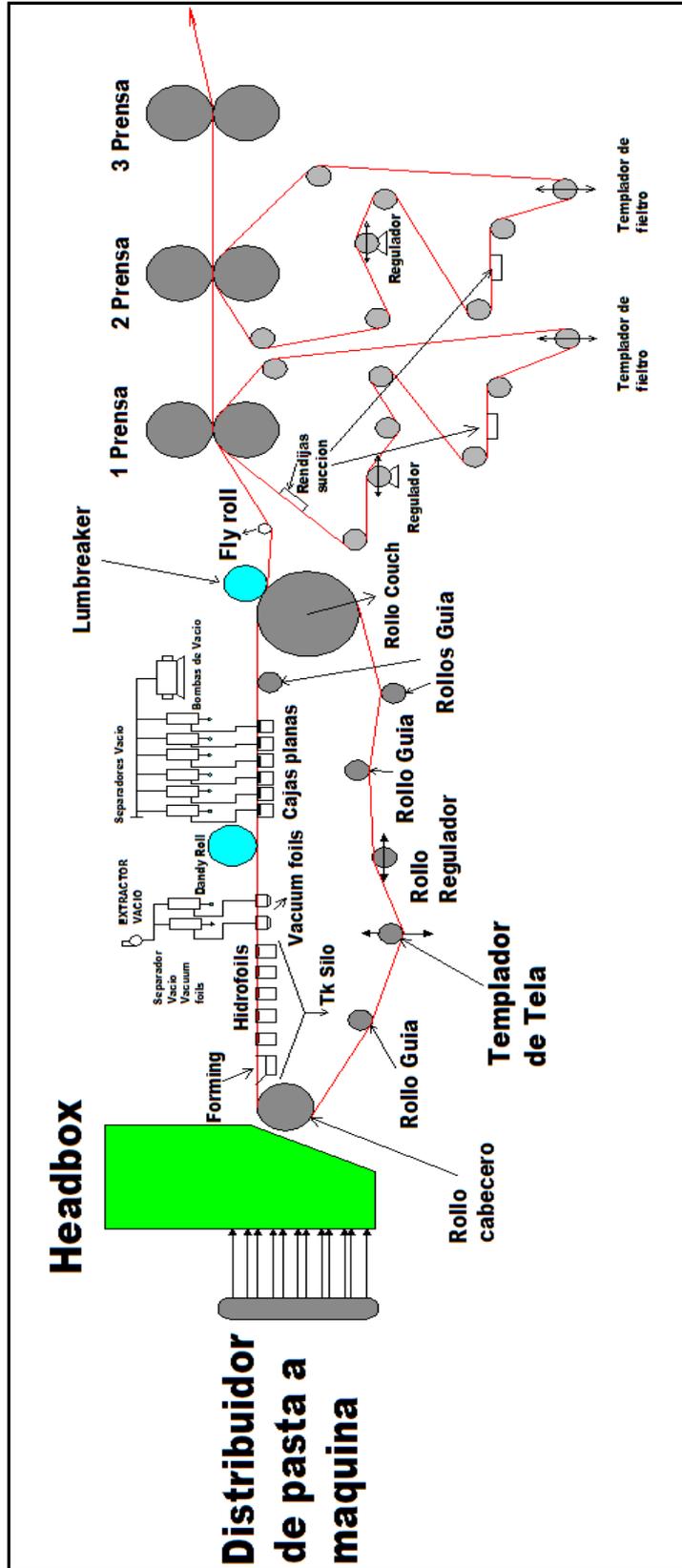


Fig. 26. Zona Húmeda de una máquina papelera.

3.1.1 Distribuidor de pasta.

El distribuidor de pasta es la primera parte de la zona húmeda antes del headbox o caja de entrada que tiene como objetivo:

- Distribuir uniformemente el flujo de pasta a todo lo ancho de la máquina.
- Dirigir el flujo de pasta a la regla, libre de flujos perpendiculares que originarían condiciones de no uniformidad.
- Evitar la formación de flujos turbulentos generándose un método de dispersión de fibras.

3.1.2 Caja de entrada o Headbox

Están ubicadas entre el distribuidor y la regla. El headbox tiene como función proporcionar una zona en las que las turbulencias y flujos cruzados se calmen.

Se pueden considerar dos tipos principales de headbox. El primero es el headbox abierto, se encuentra con frecuencia en máquinas de baja velocidad que se usan para varios tipos de papeles. Como mencionamos no son aptas para velocidades mayores porque tendrían que ser de un volumen relativamente grande.

Para velocidades más altas se usan headbox cerrados a presión en las cuales la presión total proveniente de la bomba FAN es balanceada por un colchón de aire que actúa como un resorte y amortiguador de oscilaciones que puedan

provocarse. El headbox además tiene como función generar la suficiente presión sobre la pasta para originar una velocidad de chorro similar a la velocidad de la tela.

Para conseguir que dentro de la caja no se formen grumos con las fibras la caja está provista por rollos perforados rotatorios llamados Holly Roll ,el tamaño de los agujeros y espaciamiento relativo están determinados por la velocidad de la máquina, el tamaño del cilindro y el tipo de fibra que se piensa usar. La pasta que fluye alrededor del cilindro sale en forma de chorros y es dirigida a la regla de formación que tiene como función entregar la pulpa del headbox a la tela sin que haya golpes o perturbaciones con una distribución uniforme y sin orientaciones.

3.1.3 Mesa Plana.

Al salir la pasta del Headbox se deposita sobre la mesa plana formándose la hoja de papel sobre la tela formadora que descansa sobre ella, esta tela formadora tiene como función transportar la hoja húmeda hasta que sea lo suficientemente fuerte para soportar el movimiento sin deshacerse. Esta tela es movida por un rollo, llamado accionamiento de tela .En otras máquinas usan dos cilindros motrices como el rollo couch y el rollo de accionamiento de tela conectadas en esclavo-maestro con compensación de corriente.

3.1.4 Tablero de formación o forming.

El forming o tablero de formación es el primer elemento al entrar en contacto con la pasta cuando sale del headbox y tiene como función que las fibras realicen un reacomodamiento ayudando así en la formación y en las resistencias físicas. Este forming suele estar muy cerca al rollo cabecero que sirve de giro para la tela al llevarla hacia la parte superior de la mesa después de pasar por la parte inferior de ella.

El foil formador tiene también como principal función no permitir que el agua que sale a presión del labio del headbox sea drenada por los poros de la tela, pues esto originaría que las fibras carezcan de un medio donde ellas puedan entrelazarse originando una pésima formación.

Es importante por tanto redirigir la dirección del chorro de pasta al formador el cual debe originar una actividad en el agua y pasta para que las condiciones de formación sean propicias.



Fig28.-Forming en mesa plana PPX-1.

3.1.5 Hidrofoils

Son cajones que tienen como función generar un vacío autoinducido al pasar el papel por su cubierta, esta función se debe mucho al diseño del ángulo del foil el cual generará microturbulencias en el papel a través de sus pulsos de presión y vacío.



Fig.29.-Los ángulos de las cubiertas van en forma ascendente.

3.1.6 Vacuum foils

Son cajones donde el vacío producido proviene típicamente de un extractor de vacío, esto se debe a la necesidad de obtener un vacío reducido de 1.5 a 2 pulgadas de mercurio. Debido a la necesidad de producir vacíos bajos es muy común utilizar extractores tipo ventilador. Exagerar el vacío podría producir el rompimiento de las fibras y una inestabilidad en la máquina.

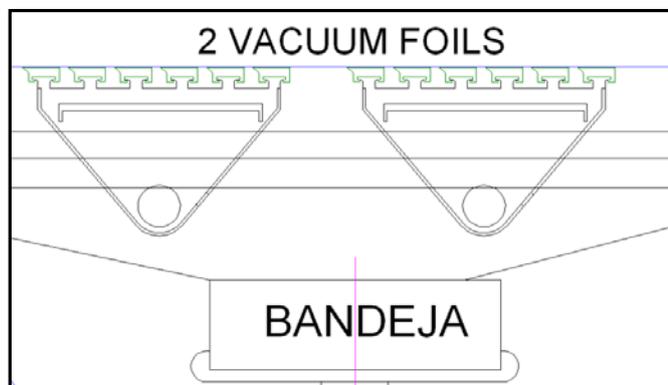


Fig.30.-Vacuum foils cuyo rango de vacío se mide en "h₂O.

3.1.7 Cajas de vacío.

Son cajones donde el vacío es conseguido con bombas de anillo líquido esto se debe a la necesidad de conseguir vacíos desde 2 a 12 "Hg. Las bombas de anillo líquido tienen una alta eficiencia debido al bajo costo de mantenimiento por carecer de componentes mecánicos en contacto directo.



Fig.31. Cajones cuyo rango de vacío se mide en "Hg.

3.1.8 Rollo Couch de succión.

Es un rollo de bronce perforado bajo un patrón determinado. Tiene dos funciones principales dar movimiento a la tela para el cual su transmisión está acoplada a un reductor con su motor y su segunda función es eliminar agua por succión dándole así a la hoja la resistencia debida para poder pasar al área de secado.

Por el vacío requerido en esta zona se aplican bombas de vacío de anillo líquido que nos pueden proveer al menos de 20 a 22 pulgadas de mercurio.



Fig.32.Rollo de succión.

3.1.9 Sistema de prensas

Las prensas tienen como finalidad seguir eliminando la cantidad de agua albergada en la hoja tanto por medios mecánicos (presión efectuada en los rollos), produciendo un NIP al papel, así como vacíos inducidos en ellas por

bombas de vacío de anillo líquido. Los vacíos trabajados en las prensas están alrededor de 18 a 20 "Hg .La cubierta de las prensas naturalmente es de jete con cierta condición de dureza que le permita soportar la presión de operación. Estas prensas debido al material abrasivo del papel deben estar en mantenimiento cada mes siendo rectificadas en la maestranza o si fuera el caso cambiando las cubiertas. La tercera prensa debido a tener los rollos descubiertas le da una propiedad de lisura al papel.

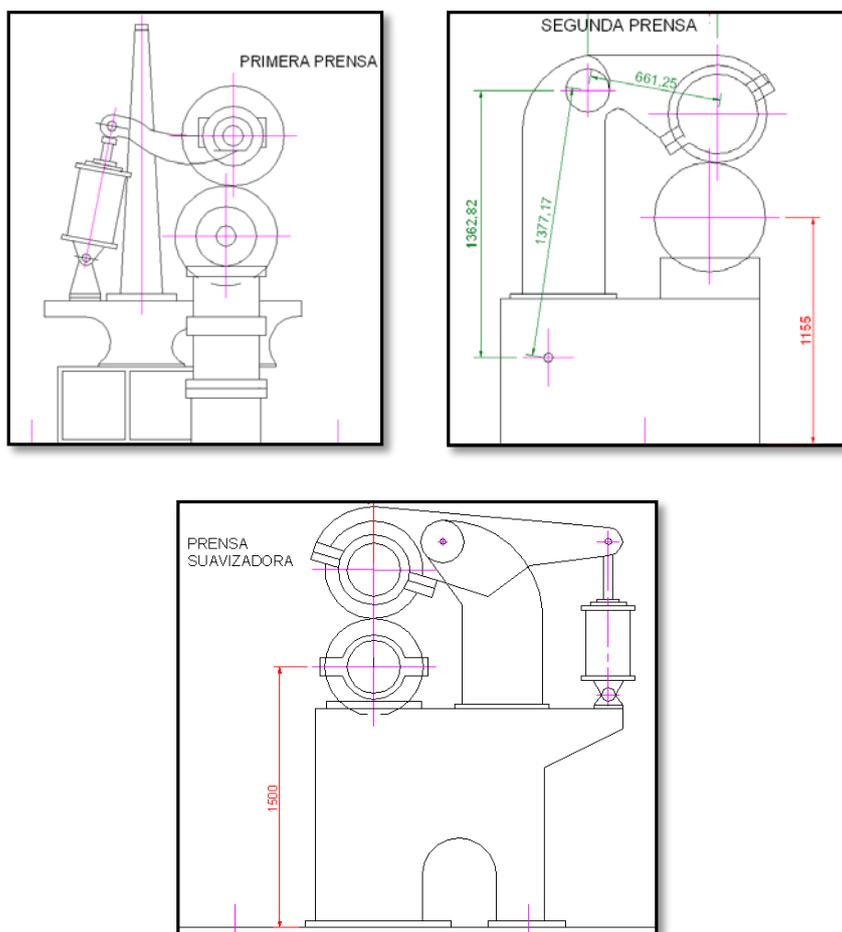


Fig.33.Prensas de jete de succión.

3.1.10 Rendijas

Son cajones de vacío que se encuentran pegadas a los fieltros y su finalidad también se centra en quitar la humedad de los fieltros para así mejorar su eficiencia de absorción de agua. Físicamente son placas ranuradas donde debido al tiempo de residencia del fieltro y al vacío inducido en ellas, alrededor de 10"hg, permiten extraer la humedad absorbidas por los fieltros del papel.



Fig.34.-Rendijas de vacío en fieltros.

3.2 Implementación automática del sistema chorro/tela.

Para permitir que la hoja ingrese a la mesa plana y pase por cada uno de los elementos descritos anteriormente, esta pasta debe tener la formación adecuada sin ninguna formación de grumos así podemos garantizar que podemos extraerle la humedad deseada. Para esto fue de gran importancia el aporte que se realizó al implementar la relación Chorro/Tela (Jet & Wire) controlando por

un variador de velocidad la bomba de impulsión de pasta al headbox llamado bomba fan.

El objetivo de toda formación en la mesa plana es que la velocidad de salida de la pasta del cajón de entrada o headbox en muchos casos sea similar a la velocidad de la tela impulsada por el rollo couch, sin embargo el sistema debe ser flexible a poder aumentar o disminuir la velocidad del chorro produciendo mejoras en la formación en dirección máquina y transversal respectivamente.

El variador de velocidad se encargará de mantener la altura estática constante realizando correcciones ante eventuales caídas de presión que puedan generarse en el sistema o variaciones de flujo.

Compararemos con la curva de la bomba la potencia mecánica al eje necesario y evaluaremos la caída de presión ejercida en la estrangulación y recirculación para poder evaluar la eficiencia del sistema.

El poder controlar el sistema de chorro me permite dar las mejores condiciones de formación a la pasta con el fin de controlar el consumo de vapor en máquina.

3.2.1 Principios físicos del sistema hidráulico

Teorema de Bernoulli: El principio de Bernoulli, describe el movimiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. La ecuación se basa en la conservación de la energía en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento). El teorema propone que la energía de un fluido en cualquier instante consta de tres componentes:

- Cinética: Debido a la velocidad del flujo desplazado.
- Potencial: Energía debido a la altitud que posee el flujo.
- Energía del flujo: Debido a la presión contenida en cierto instante.

La Ecuación General de Bernoulli esta descrita de la siguiente manera:

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \text{PERDIDAS [1, 2]} \dots \dots (1)$$

3.2.2 Modelamiento matemático sistema headbox

Partimos de una condición general hallando la velocidad de chorro en un tanque cerrado aplicando la ecuación básica de los fluidos dinámicos.

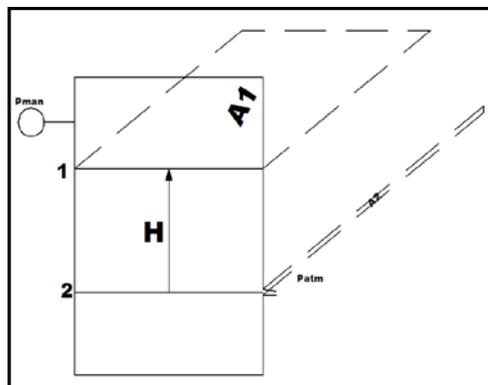


Fig.35.Principio físico de un tanque cerrado.

I) Aplicando la Ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2

$$\frac{P_1}{\delta} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\delta} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\delta} + (z_1 - z_2) = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

P_1 =Presión manométrica; P_2 =Presión atmosférica;

H= Altura de columna de líquido en pulgadas de agua (diferencia de alturas).

II) Ecuación de Continuidad

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \dots \dots (3)$$

Como $A_2 > A_1$

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} * V_2 \cong 0 .$$

$$V_2 = V_{chorro} \dots (4)$$

Reemplazando (3) y (4) en (2)

$$V_{chorro} = K * \sqrt{\left(\frac{P_{man}-P_{atm}}{\delta} + H\right) * 2g} \dots \dots (5)$$

K=Coeficiente de descarga de acuerdo a la forma de la boquilla.

Como la forma del labio es como un ducto recto con un ángulo despreciable el coeficiente de descarga $K=0.959$.

La fórmula (5) es la más general para tanques cerrados.

Para el sistema headbox de nuestra máquina

$P_{man}=P_{atm}$; debido a que es un tanque abierto, reemplazando en ecuación 5

$$V_{chorro} = 0.959 * \sqrt{2gH} \dots (6)$$

La velocidad máxima de seteo está para 260 m/min reemplazando en (6).

$$260 = 0.959 * (2 * 9.81 * H)^{0.5}$$

Donde; $H=1.04$ m.

Dimensión más que suficiente para la altura de headbox que tenemos de 1.535m.

La tabla 1, nos muestra diferentes valores de velocidad de chorro obtenida de acuerdo a la dimensión mínima del headbox.

La curva mostrada en la figura 36, nos mostrará la capacidad máxima que tiene el nivel del headbox, podemos aumentar la capacidad aumentando la altura o cerrando el headbox y compensando la altura faltante con presión de aire.

Altura agua cmH ₂ O	Velocidad chorro (mpm)
0	0
10	80,59708952
20	113,9814971
30	139,598254
40	161,194179
50	180,220571
60	197,4217441
70	213,2398553
80	227,9629942
90	241,7912686
100	254,8703757
110	267,3103051
120	279,196508
130	290,5969389
140	301,5666954
150	312,1511855
153,5	315,77195

Tabla 01. Velocidad de chorro en función de la altura cajón de entrada.

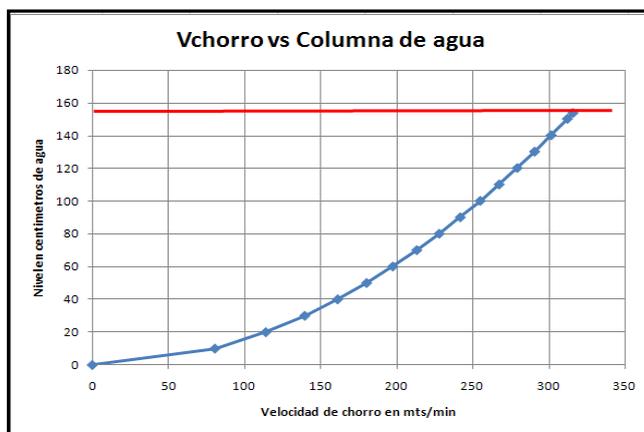


Fig.36. Curva obtenida de la interpolación de los datos.

3.2.3 Control de velocidad de chorro de pasta del sistema

Sabemos que:

$$V_{chorro} = f(H) \dots (7)$$

Para facilitar en la operación hacemos que la variable H sea controlada por un variador de velocidad y un controlador de nivel marca foxboro 762.

$$V_{chorro} = 0.959 \times \sqrt{2gH} \dots (8) \text{ (Fórmula hallada)}$$

El controlador recibirá la señal de setpoint de la tela a través de un puerto de salida analógica de 4-20 ma proveniente del variador de la tela, con un rango calibrado de 0-300 mpm en ambos equipos. La señal recibida por el variador de la Tela será sumada a un bias por parte del operador con el fin de decidir si el chorro de pasta trabajará en estado de arrastre (Drag) o de jale (Rush). Esta señal será la velocidad de chorro que será ingresada a la fórmula (8) en la parte superior e ingresada en el controlador de nivel el cual se comparará con la señal retransmitida de la planta a través del transmisor de nivel, este error será

ingresada en el variador de velocidad con la intención de hacer las correcciones hacia la bomba impulsora.

Para el arranque del sistema se eliminará la válvula de estrangulación y las dos válvulas de recirculación con el fin de no generar ninguna caída de presión y un exceso de flujo que se convierta en energía de desgaste.

En la figura 37 se explica en un diagrama como se controla la velocidad de un motor de corriente continua.

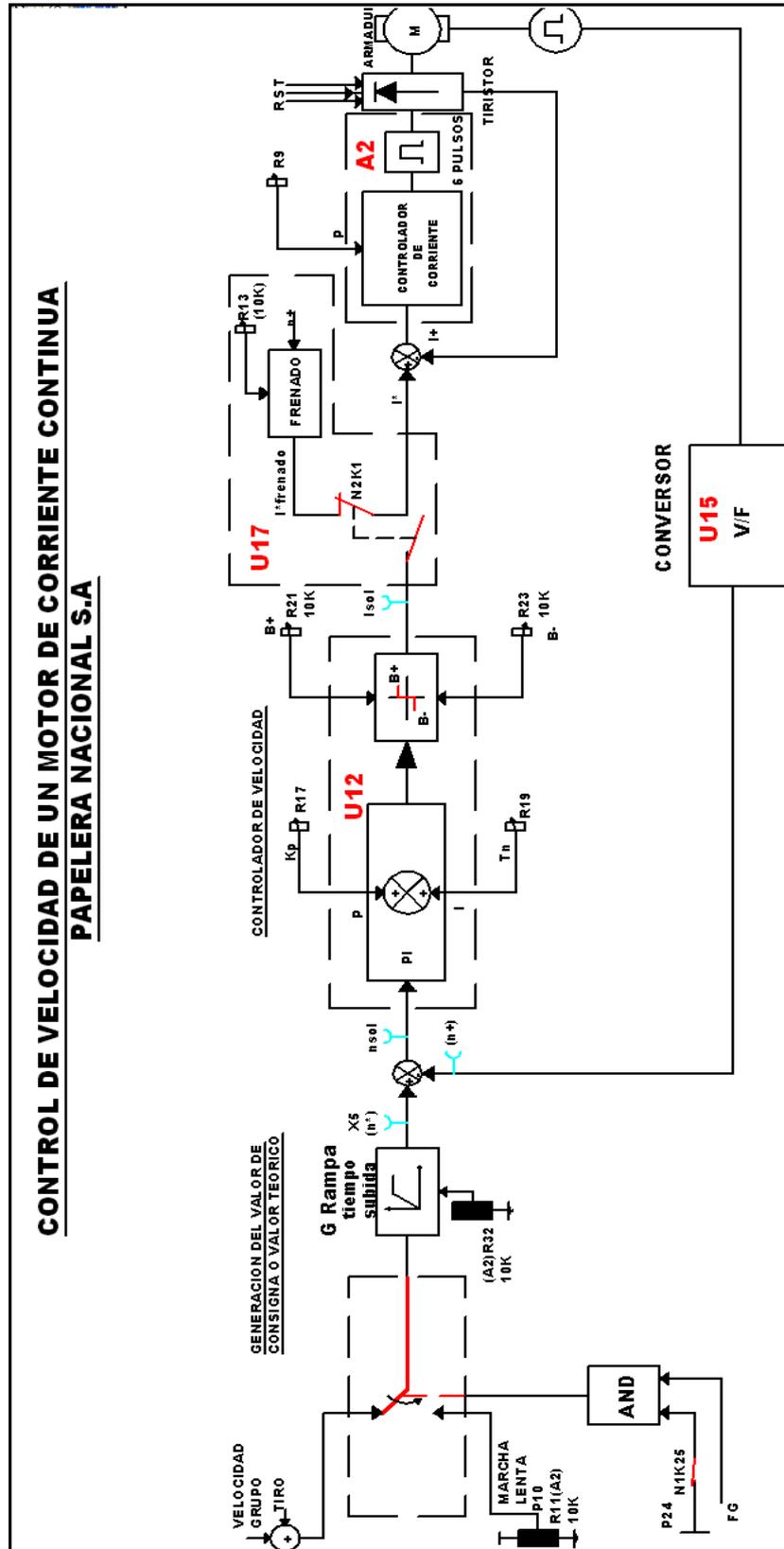


Fig. 37. Control de velocidad del motor de CD.

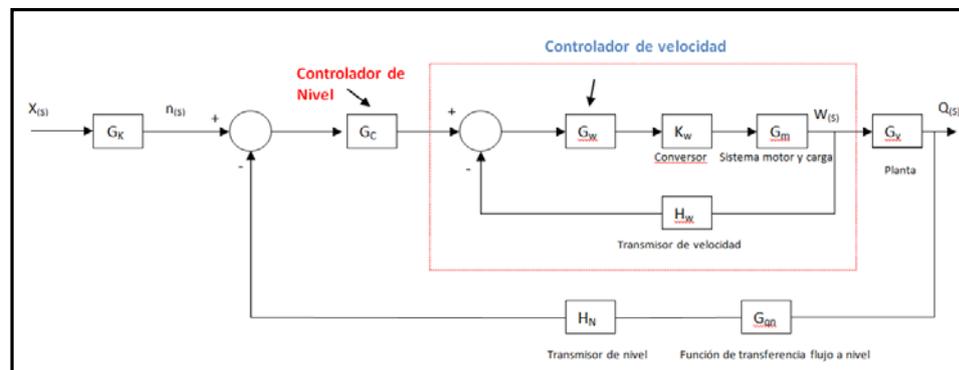


Fig.38.Control en cascada sistema Chorro & Tela.

La fig.38 muestra el control en cascada del sistema donde podemos observar lo siguiente:

- G_K = Constante para el cálculo de setpoint de nivel.
- G_C = Controlador PI de nivel.
- G_W = Controlador PI de velocidad.
- K_W = Función de transferencia.
- G_m = Función de transferencia del sistema electromecánico
- G_v = Función de transferencia de la planta.
- H_W = Transmisor de velocidad
- H_n = Transmisor de nivel
- G_{qn} = Función de transferencia flujo a nivel

resultando como función de transferencia para el sistema completo.

$$\frac{Q(s)}{X(s)} = \frac{G_k * G_C * G_W * K_W * G_m * G_v}{1 + H_W * G_W * K_W * G_m + G_{qn} * H_n * G_C * G_W * K_W * G_m * G_v} \dots\dots(9)$$

Entendiendo como es el comportamiento del sistema, el cual basa su estabilidad en conseguir una buena sintonía de sus controladores. Se aplicó en forma práctica la regla Ziegler Nichols.

3.2.4 Método de Ziegler Nichols para la sintonización de los controladores

Un método práctico para la sintonización de controladores, lo describe Ziegler Nichols, cuyo procedimiento requiere trabajar con controladores puramente proporcionales aumentando su valor hasta generar una oscilación sostenida para luego aumentar la constante integral hasta lograr la estabilización del sistema.

CONTROLADORES	Kp	Ti	Td
Controlador Nivel	1.67	0.8	0
Controlador Velocidad	3	1	0

Tabla 02. Ajuste de parámetros del controlador chorro/tela.



Fig.39.Control de la velocidad Jet & Wire.

3.2.5 Comparación del sistema antiguo con el nuevo sistema.

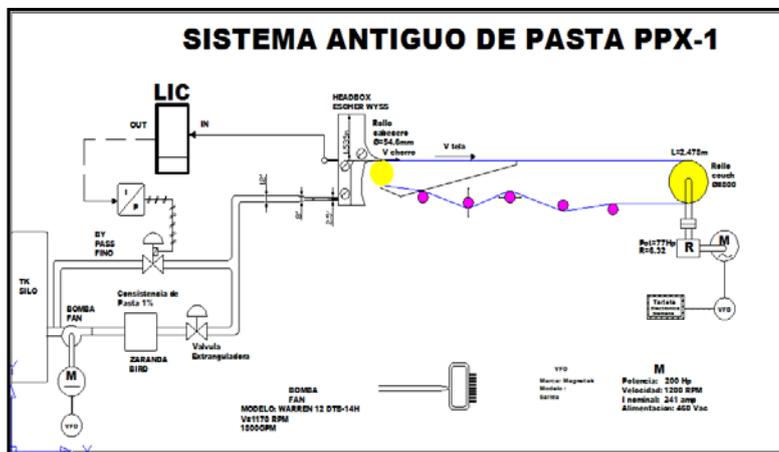


Fig 40 .Sistema antiguo máquina PPX-1.

Cómo funcionaba el sistema

La velocidad de chorro sabemos para un headbox abierto es:

$$v_{chorro} = K\sqrt{2gh} \text{ (de la ecuacion 8)}$$

Entonces si deseamos una velocidad de chorro deseada solo debemos mantener un nivel constante, es así que se usaba un transmisor de nivel en el headbox que mandaba una señal para abrir o cerrar la válvula de recirculación de pasta llamada Bypass Fino o llamada válvula de nivel del headbox. Ver **figura 40**, a la vez existe una válvula de estrangulación operado en forma neumática que estrangulaba el paso de pasta.

Existía otra válvula de recirculación en paralelo al bypass fino llamada bypass grueso que era operado en forma neumática.

Mientras tanto la bomba se movía en forma continua sin ningún tipo de control consumiendo energía por exceso de presión (estrangulación) y por tirar exceso de flujo (Recirculación).

La regulación de velocidad Tela/Chorro, solo se realizaba manualmente.

Desventajas del Sistema

- Consumo alto de energía en el motor de la bomba Fan, aproximadamente 200 amperios.
- Sobrepresiones en la línea de recirculación, originando desbordamiento de agua y pasta en el tanque Silo.
- Regulación lenta en la velocidad de chorro de Pasta.
- Tiempos perdidos de aproximadamente una hora para los cambios de calidad que sufría en el proceso de producción la máquina.
- Desperdicio de fibra en el tanque receptor de máquina.
- Descompensación en la formación de la pasta, provocando variaciones en la consistencia y por ende, mayor consumo en el flujo de vapor.

Cómo funciona el nuevo sistema

Ahora en el nuevo sistema, el valor de referencia es dada desde el variador de la tela, realimentando a través de su salida al controlador de nivel, este controlador envía el setpoint de impulsión al variador de la bomba. Con este nuevo lazo hemos logrado conectar la velocidad de chorro con la velocidad de la tela, eliminando por completo la recirculación y la estrangulación

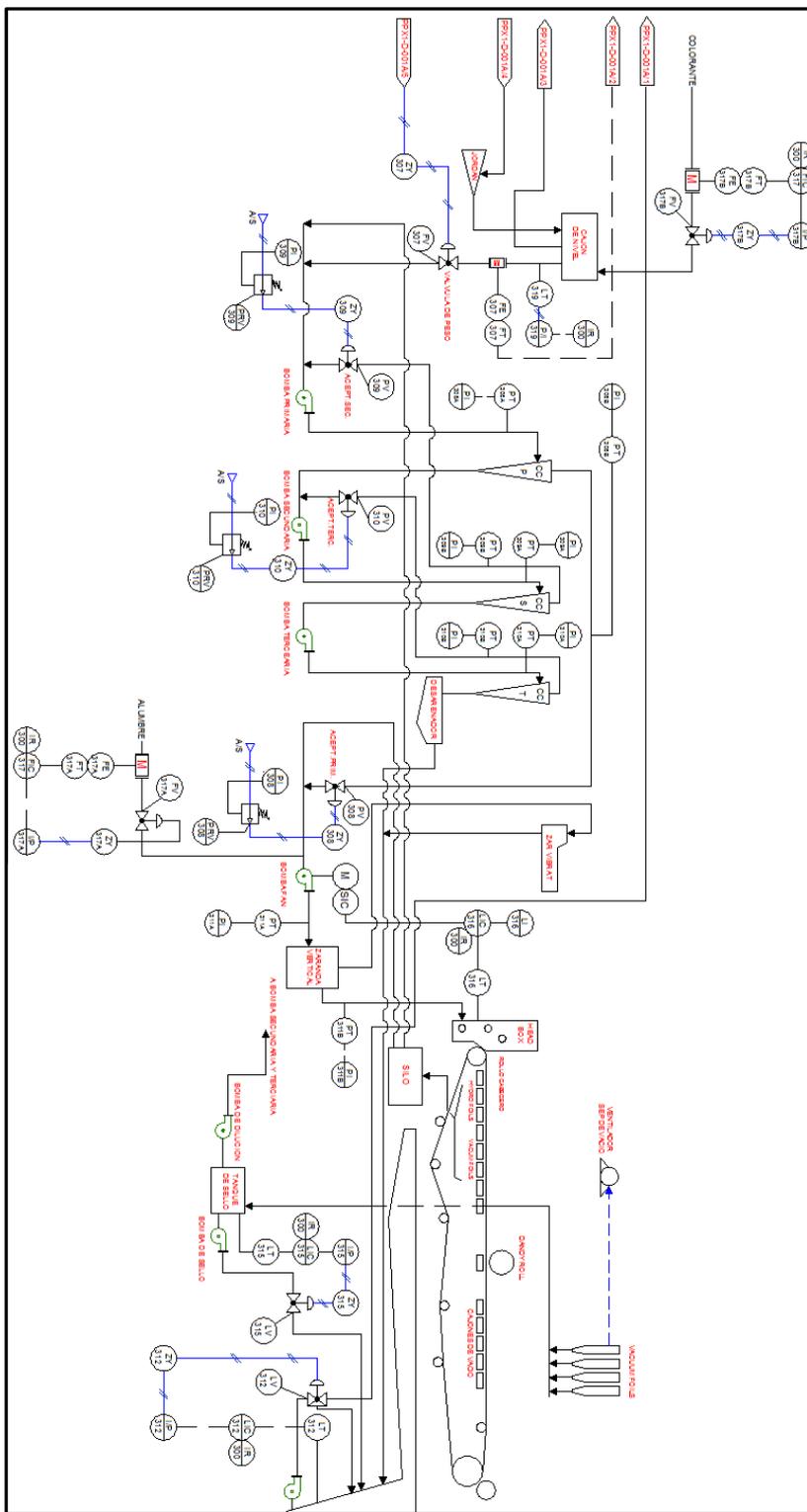


Fig 42. Diagrama P&ID sistema de pasta PPX-1.

3.2.6 Dimensionamiento de la bomba de impulsión.

El caudal máximo de trabajo para una condición máxima de 300 mpm que la bomba de pasta se encargará de enviar a la caja de entrada o headbox es:

$$Q = V_{ch} \times A_h \dots (10)$$

Parámetros:

V_{ch} =Velocidad de chorro

A_h = Área del labio del headbox

Gramaje (G_r) =130 gr/m².

R_T =Retención de masa que queda en la hoja;

C_w =Consistencia agua de máquina.

C_H =Consistencia del headbox.

V_T =Velocidad de la tela.

S =Abertura de labio (mm).

A =Ancho del headbox.

Para obtener el área del labio del headbox, hallamos la abertura de labio para las condiciones de mayor velocidad y mayor gramaje producido.

Sabemos que:

$$Producción = Gr \times V_{bobinadora} \times Trim \dots \dots \dots (11)$$

$$R_T = \frac{C_H - C_W}{C_W} \dots (12)$$

$$\text{Producción} = Q \times R_T \times C_H \dots\dots(13)$$

Reemplazando la ecuación (10) en (13) $V_{\text{bobinadora}} = V_T$

$$V_{CH} \times S \times A \times C_H \times R_T = \text{Gramaje} \times V_T \times \text{Trim} \dots\dots(14)$$

Considerando el efecto de contracción del papel despreciable

$$A = \text{Trim} \dots(15)$$

Reemplazando la ecuación (14) en (13)

$$S = \frac{\text{Gramaje}}{R_T \times C_H} \times \left(\frac{V_T}{V_{CH}} \right) \dots\dots (16)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (16)

$$\text{Gramaje} = 130 \text{ gr/m}^2$$

$$C_H = 0.9$$

$$C_W = 0.105$$

$$\text{Relación tela/chorro} = \frac{V_T}{V_{CH}} = 1.2$$

$$\mathbf{S = 19.6 \text{ mm}}$$

El área de salida del chorro será

$$\text{Área} = S \times A = 0.0196 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 0.0333 \text{ m}^2$$

Donde A=ancho del headbox.

Por tanto, el caudal de salida será de $Q=9.99 \text{ m}^3/\text{min} = 2640 \text{ gpm}$ más el caudal que será evacuada como rechazo en la zaranda vertical cuya estimación va en 10 % del caudal bombeado, además agregamos 10% de caudal como factor de seguridad.

Flujo aproximado $Q_{\text{FAN}}=3200 \text{ gpm}$.

Analizando la altura manométrica

- Distancia del nivel del silo al headbox = 2.5 m.
- Pérdida de carga en la zaranda = 0.6 Kg/cm^2
- Pérdida en el manifold y caja = 4 mca.
- Energía de salida del chorro = 1.38 m de la ecuación (8) para 300 mpm.

$$H_{\text{manométrica}} = 2.5 + 6 + 4 + 1.38 = 13.8 \text{ m.}$$

Agregando un factor del 10 % a la altura manométrica

$$H_{\text{manométrica}} = 13.8 * 1.1 = 15.1 \text{ m.}$$

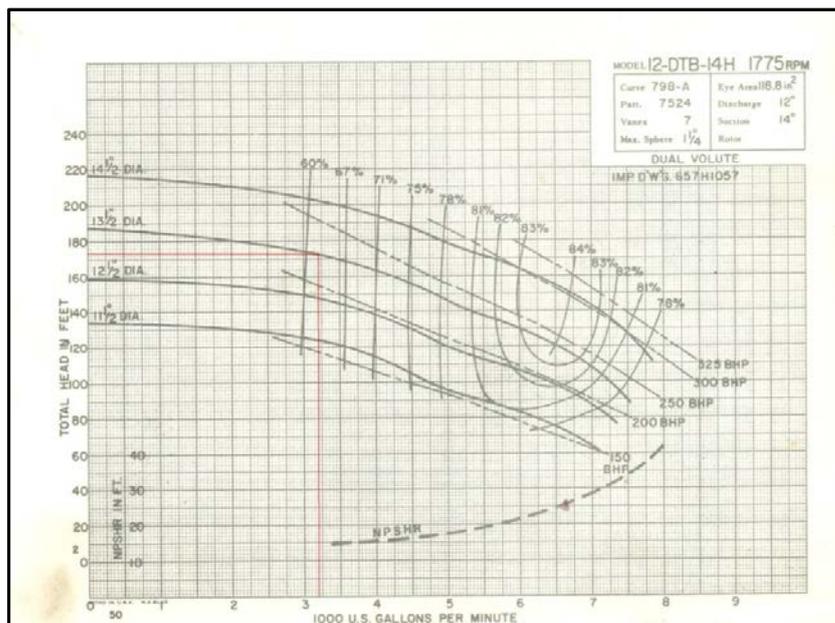


Fig 43. Curva de la bomba fan.

Analizando la curva de la bomba fan modelo WARREN 12DTB-14H (12x14x13^{1/2}). Observamos que para el galonaje que necesitamos y las características de la bomba, tenemos una bomba fan sobredimensionada, debido que para el galonaje de 3200 gpm con el impulsor descrito líneas arriba, puede impulsar una energía equivalente a 174 pies o 53 m .

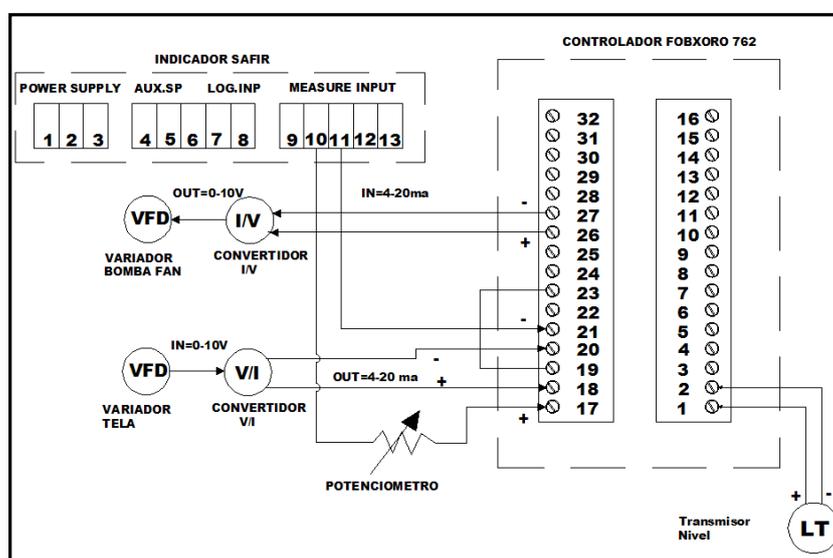


Fig 44. Conexión del sistema de control Chorro/Tela.

La figura 44 muestra el diagrama de conexión entre las borneras del controlador de nivel foxboro 762, las señales de ingreso de velocidad proveniente del variador de la tela más el bias accionada por un potenciómetro manual. La señal de ingreso del transmisor de nivel y la señal de salida del controlador al variador que controla a la bomba de impulsión de pasta.

3.3 Diseño del sistema de vacío en la zona húmeda

En la máquina de papel el vacío es utilizado para controlar el contenido de humedad de la hoja de papel en formación.

Las normas Tappi son aproximaciones basados en la experiencia de una serie de plantas visitadas a lo largo del mundo, muchos de estas normas se fundamentan bajo un cálculo matemático y otros son más experimentales.

La norma de secado en las condiciones de papel liner y corrugado se propuso de esta manera. La norma indica como punto principal se debe generar un vacío escalonado para así extraer con eficiencia el agua del papel, este vacío está en función del tipo de papel a producir, extensión de la mesa plana, bombas de vacío y cajas de extracción.

La norma indica para papeles gruesos como el Liner se debe extraer en forma escalonada produciendo vacíos que van desde 1.6"Hg hasta 20"Hg en la zona que abarca desde los vacuum foils hasta el couch.

El comportamiento escalonado del vacío permite que las fibras cuya orientación de movimiento es en dirección máquina no estén sometidos a altas tensiones al comienzo debido a que son más propenso a quebrarse.

El vacío comienza desde los hidrofoils los cuales generan vacíos autoinducidos debido a la caída de presión generada por el ángulo de ataque diseñado, continúa con los vacuum foils generando vacíos de dos pulgadas de mercurio y por último continúan las cajas de vacío que generan vacíos hasta 12 pulgadas de mercurio.

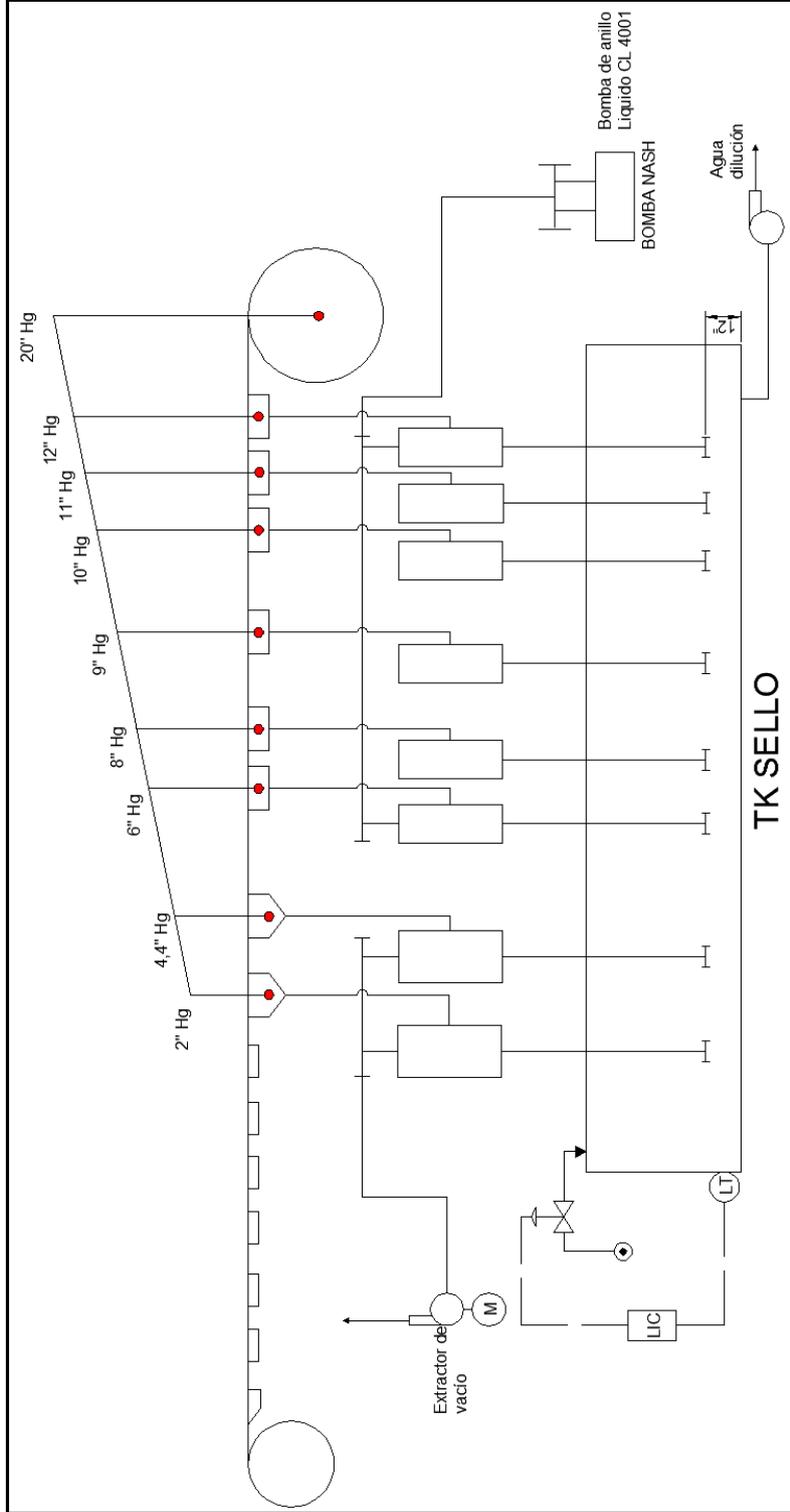


Fig .45. Vacío escalonado para papel grueso Liner.

3.3.1 Diseño de la cubiertas en la mesa plana

Las cubiertas mencionadas principalmente son el forming y los hidrofoils, los cuales se encuentran cercanas al rollo cabecero y son muy importantes para la formación y drenaje del agua.

3.3.1.1 Cálculo del forming

La función principal del forming es comenzar la formación del papel entrelazando las fibras una a otra, por tal motivo debemos estar seguro que a la salida del headbox el chorro de pasta debe descansar sobre el forming.

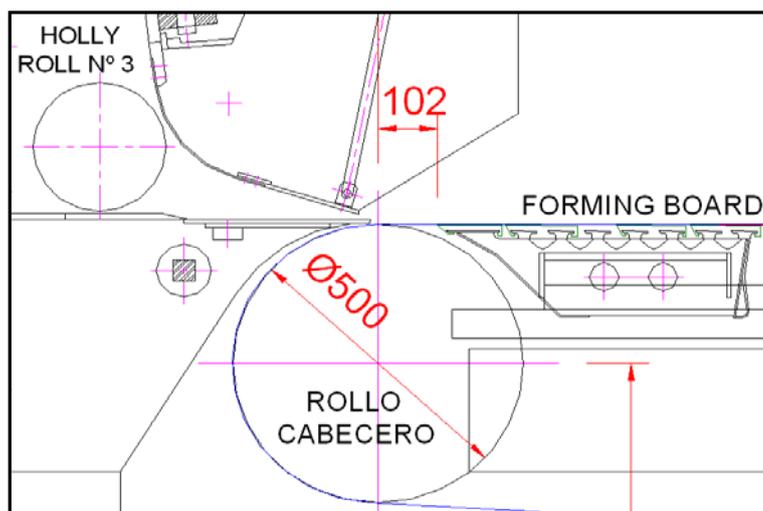


Fig 46.Caja formadora máquina PPX-1.

Nuestra estrategia se basa en que el alcance del chorro siempre se sostenga sobre el forming para así garantizar la buena formación, por tanto en la estructura de deslizamiento del forming hacemos huecos chinos para tener un rango de desplazamiento para las condiciones de 102 mm hasta 300 mm.



Fig 47. Ángulos para conseguir el reacomodo de fibras.

Sobre las cubiertas echas de polietileno se generan pequeños ángulos de 1.2 grados suficiente para generar una actividad en la pasta. Es indispensable que las primeras dos cubiertas estén juntas debido que las fibras se encuentran en plena formación hemos considerados distancia mínima de 0.6cm.

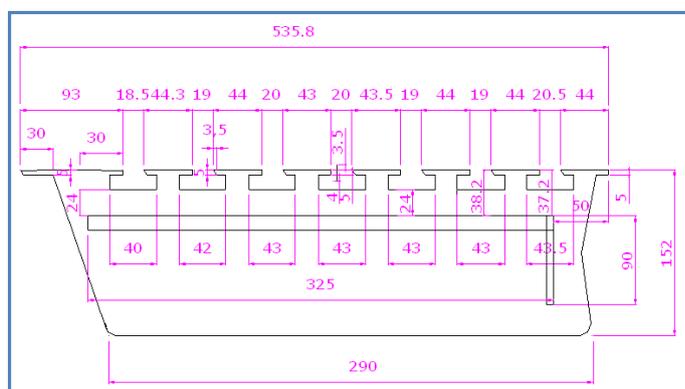


Fig 48. Dimensionamiento de la estructura del formador.

3.3.1.2 Cálculo de los hidrofoils.

La función principal del hidrofoils es generar un vacío por medios autoinducidos debido a la disposición del ángulo del foils, los cuales generan microturbulencias. Estos pueden generar vacíos desde 0.2 a 0.5 pulgadas de mercurio suficiente como para empezar el proceso de extracción. El nivel de

actividad que crea cada foils depende además del ángulo, del ancho del foil, el espacio entre foils y la velocidad de la tela. Un mal diseño del foils puede originar rompimiento de la formación y pérdidas de finos.

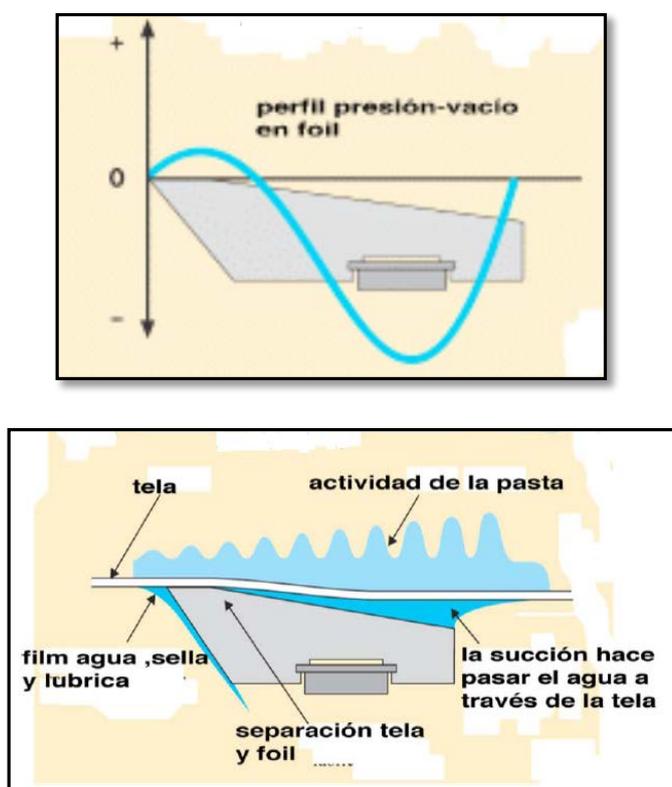


Fig 49. Diseño de hidrofoils.

La actividad que pueda tener la pasta se mide con una escala llamada de Schmid y el cumplimiento de esta regla se refleja en el tipo de papel a producir.

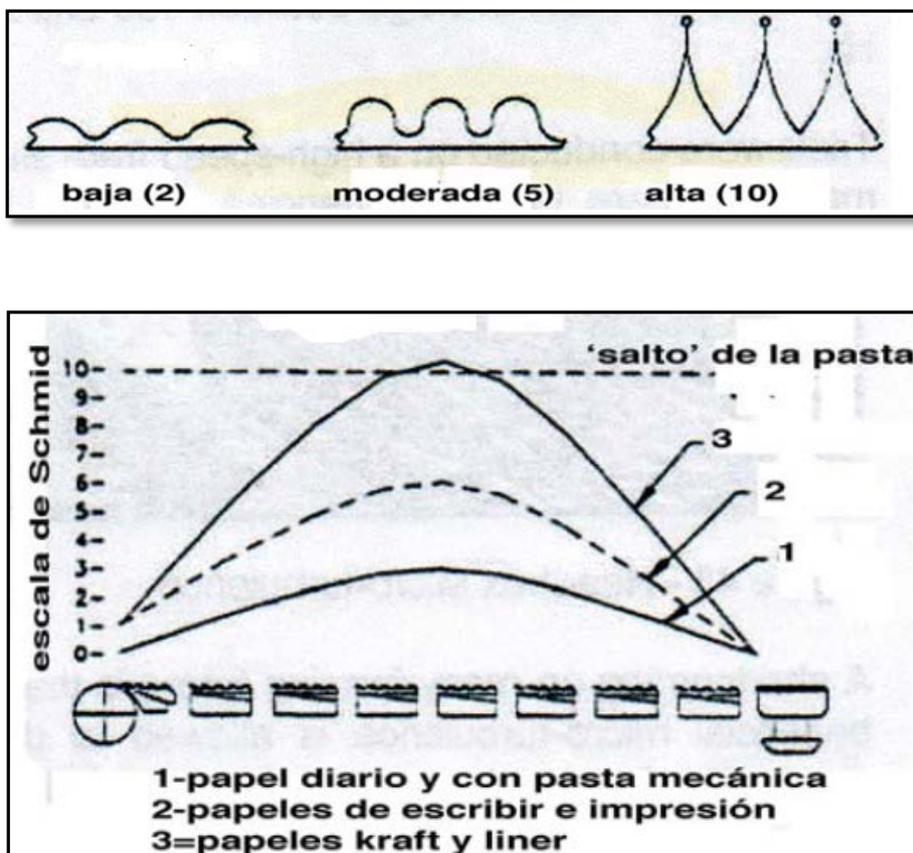


Fig 50. Actividad de la pasta según diseño hidrofoils

Para las condiciones de operación creamos perfiles que van desde 0 grados hasta 1.5 grados, con un estroboscopio se observó una actividad de 7 en la escala de Schmid. Podemos mejorar la actividad modificando el perfil del foil creando ángulos para generar impulsos en la pasta que nos permitan seguir la curva de Schmid. En la actualidad existen foils regulables neumáticamente que permitan obtener el mejor punto de operación.

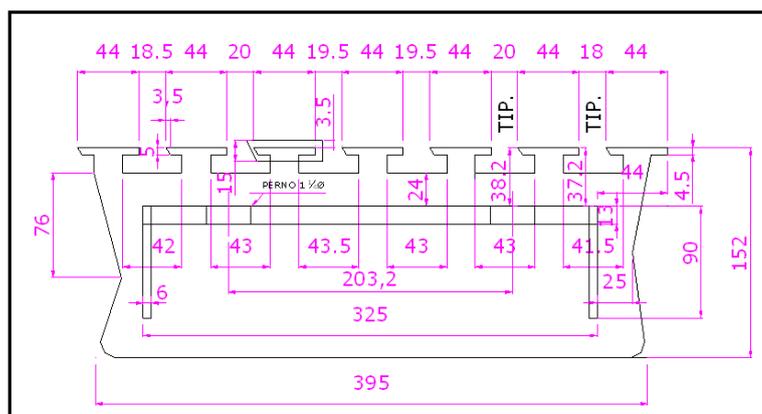


Fig 51. Perfiles con ángulos progresivos desde 0° hasta 1.5°

3.3.2 Dimensionamiento del extractor de vacío para los vacuum foils

Los vacuum foils son unidades de bajo vacío de 20 a 60 in de agua su función es crear un perfil de vacío controlado a lo largo de la mesa que nos permita una buena formación, el vacío es generado por un extractor de aire. Para la condición de bajo vacío necesitamos obtener un flujo de 600 cfm.

Debido a que las placas del extractor nunca fueron encontradas solucionamos el problema con un VFD en el cual conseguimos nuestro objetivo para una velocidad de 2800 RPM.

Podemos aproximar nuestros cálculos aplicando la ley de afinidad de ventiladores para las condiciones del extractor de vacío de los vacuum foils de la PPX-5.

Características del extractor PPX-5:

Capacidad: 5000 cfm

Columna: 25 pulgadas de agua (presión estática)

Diámetro del Rotor: 35 pulgadas

Rpm=2980

Características del nuevo extractor PPX-1

Capacidad: X

Columna: Considerando la misma presión estática de 25 pulgadas de agua

Diámetro del Rotor: 45cm

Calculando la capacidad del ventilador por ley de afinidad

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Diametro del nuevo extractor}}{\text{Diametro del patron}} = \frac{45}{88.9} = 0.506$$

La nueva capacidad = 5000 cfm * ratio² = 1280 cfm. Capacidad máxima

Para una condición de 6000 RPM velocidad del rodete.

Si deseamos 600 cfm necesitamos una velocidad de 2812.25 RPM, valor

que se corroboró en forma experimental con la puesta en marcha de un

variador de velocidad.

3.3.3 Diseño de la bomba de vacío en los cajones.

Debido a que la cantidad de agua aún sigue siendo alta y por tanto el papel aún es frágil. La acción de succión debe ser lineal drenando la máxima cantidad de agua sin marcar ni debilitar la hoja.

3.3.3.1 Cálculo del CFM x caja plana para el nivel máximo de 12'Hg

Cada caja se estima según normas Tappi que jala 20 cfm para las ranuras transversales y 5 cfm para los agujeros extremos (para papel pesado).

Por tanto nos proyectamos a las 6 cajas que poseemos para poder calcular cuánto será el flujo de aire que debe remover la bomba de vacío.

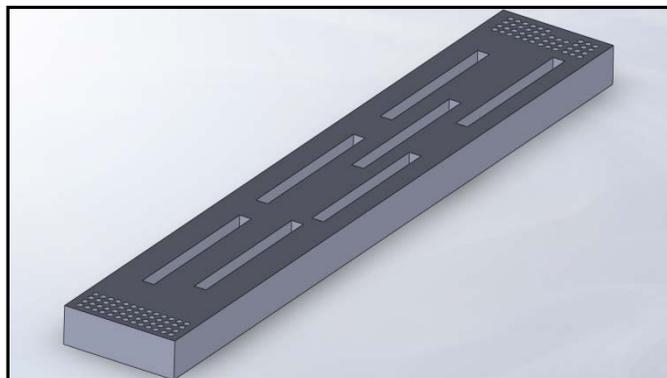


Fig 52. Forma de una caja de vacío en la zona húmeda.

Calculando el flujo máximo de aire a extraer.

- Número de ranuras transversales por caja =7.
- Flujo máximo por ranura transversal = 20 cfm.
- Número de agujeros extremos por caja = 96.
- Flujo máximo por agujero = 5 cfm.

Flujo máximo será:

$$1 \text{ caja} = 20 * 7 + 5 * 96 = 620 \text{ cfm.}$$

$$6 \text{ cajas} = 3720 \text{ cfm.}$$

Como obtenemos un flujo mínimo de 3270 cfm la bomba adecuada sería una bomba de anillo líquido NASH 4001, estas bombas de anillo líquido poseen una alta eficiencia y un bajo costo de mantenimiento

Nos vamos a la curva de la bomba 4001(Modelo NASH)

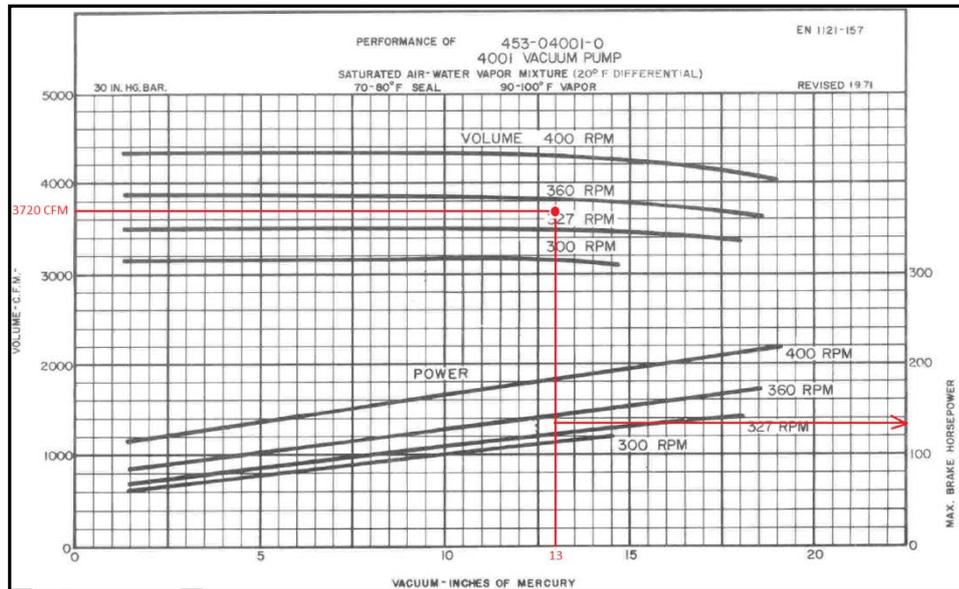


Fig 53. Curva de vacío bomba Nash 4001.

Agregamos una pulgada más de Hg por de pérdidas primarias y secundaria. Observamos que el rotor de la bomba debe girar a 350RPM con una potencia aproximada del motor de 150 HP.

3.3.4 Dimensionamiento de los separadores de agua

Cuando se produce el vacío, aire y líquido son arrastrados a la bomba, a pesar de que esto no generan complicaciones, el agua produce oscilaciones y pequeños ruidos y si el líquido es demasiado abrasivo puede originar averías en el rodete. Es por eso la necesidad de instalar separadores de agua que permitan la separación del agua del aire como puede verse en la **figura 54**.

A continuación dimensionaremos la tubería saliente de la bomba de vacío a las cajas planas.

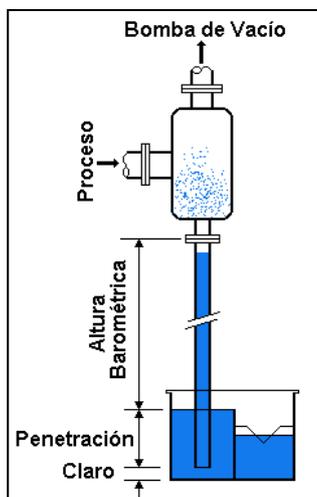


Fig 54.Separadores de vacío.

3.3.5 Dimensionamiento de tuberías de vacío

Sabemos que la bomba tiene por fin impulsar 3720 cfm máximos, para tal condición dimensionamos la tubería a instalarse en la salida de la bomba. De la ecuación (12).

$$\phi_{tub} = \left(\frac{CFM * 144 * 4}{6000 * \pi} \right)^{0.5} \dots (12)$$

$$\phi_{tub} = \left(\frac{3720 * 144 * 4}{6000 * \pi} \right)^{0.5}$$

$\phi_{tub} = 10.66'' = 12''$, Evaluamos la velocidad del flujo de aire que viajará por la tubería.

$$V(m/s) = \frac{cfm}{Area_{tub}} \dots (13)$$

$$V_{(m/s)} = 24$$

La norma nos indica que el flujo debe estar entre los valores de <17-25m/s>.

ACEPTADO OK

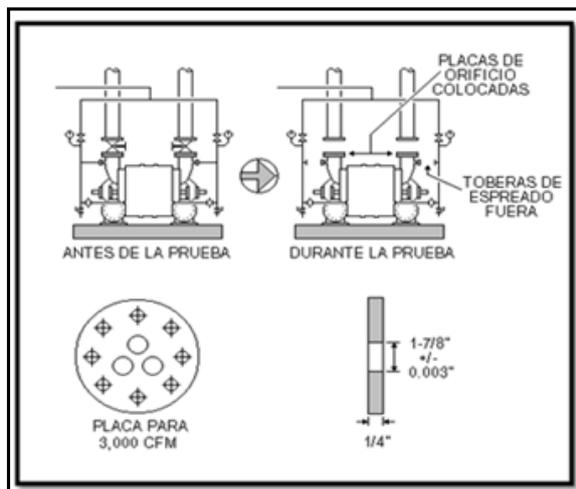


Fig 55.Tuberías en las bombas de vacío.

La **figura 55** muestra en detalle cómo se distribuye la tubería de la bomba de vacío. A continuación dimensionaremos los separadores de la zona de bajo y alto vacío.

3.3.6 Dimensionamiento del separador de los vacuum foils

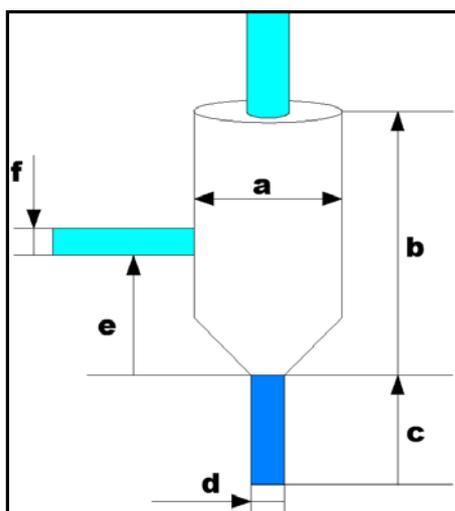


Fig 56.Dimensionando el separador de vacío.

Calcularemos las dimensiones descritas en la **figura 56** de acuerdo a las normas Tappi Tip 0404-55 y Albany International , los cuales recomiendan velocidades del aire en las diferentes zonas del separador, bajo estas recomendaciones y el flujo calculado dimensionaremos los separadores de bajo y alto vacío.

a) Diámetro del separador

Para el caudal de 600 cfm que el extractor desaloja, el cual se reparte a los dos vacuum foils en forma equitativa de 300 cfm y la velocidad recomendada en la parte central de 2.4 m/s. Calculamos el diámetro:

$$a = 2 \times \sqrt{\frac{Q}{(v \times 188.5)}} \dots (14) \text{ donde,}$$

$v=2.4$ m/s velocidad recomendada

$a=10.78''=12''$ (equivalente)

$Q=m^3/\text{min.}$

b) Longitud del separador

$$b = a * 3 \dots (15)$$

$$b=36''.$$

c) Altura de la pierna barométrica

Para el vacío máximo destinada al bajo vacío de 60'' H₂O equivalente a 4,42'' Hg

$$C = 0.344 * V(m) + 0.91 \dots (16)$$

$C=2.43 \text{ m}$; $V(m)=\text{Vacío máximo "Hg.}$

d) Diámetro de la pierna barométrica.

Partiendo de la velocidad recomendada para la pierna barométrica es de 2.5 m/s. Consideramos que el 10% del flujo total desplazado puede ser desalojado en agua. Aplicando la ecuación (14)

$$d = 2 * \sqrt{\frac{Q}{(\pi * 60 * V)}} \dots \dots (14)$$

Velocidad sugerida =2.5m/s.

Caudal de agua = 10% (300cfm)=30 cfm.

$d=3.3''$ =equivalente a 4"

e) Ubicación de la tubería

$e=b / 3 =0.38 \text{ m}$.

f) Diámetro de ingreso a cabezal

Cada caja de bajo vacío es repartida en 300 cfm. Para la velocidad sugerida del ducto de ingreso al cabezal de 20 m/s. Calculamos

$$f = 2 * \sqrt{\frac{Q}{(\pi * 60 * V)}}$$

$V_{\text{sug}}=20 \text{ m/s}$.

$D=3.7''$ =equivalente a 4"

3.3.7 Dimensionamiento del separador de las cajas de vacío

a) Diámetro del separador

Para el caudal de 3720 cfm que la bomba de vacío desaloja, el cual se reparte a las 6 cajas de vacío en forma equitativa de 620 cfm y la velocidad recomendada en la parte central de 2.4 m/s. Calculamos el diámetro:

$$a=2 * \sqrt{\frac{Q}{(V*pi*60)}}, \text{ donde}$$

$$Q = 620 \text{ cfm} = 17.55 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$v = 2.4 \text{ m/s velocidad recomendada.}$$

$$a = 15.5'' = \text{equivalente a } 16''.$$

b) Longitud del separador

$$b=a*3=48'' .$$

g) Altura de la pierna barométrica

Para el vacío máxima destinada al cajón de vacío de 12'' Hg equivalente a:

$$C = 0.344 * V(m) + 0.91 \dots (16)$$

$$C=5.038 \text{ m ; } V (m)=\text{Vacío máximo "Hg.}$$

h) Diámetro de la pierna barométrica.

Partiendo de la velocidad recomendada para la pierna barométrica es de 2.5 m/s. Consideramos que el 10% del flujo total desplazado puede ser desalojado en agua. Aplicando la **ecuación 14**

$$d = 2 * \sqrt{\frac{Q}{(\pi * 60 * V)}}$$

Velocidad sugerida = 2.5m/s.

Caudal de agua = 10% (620cfm)=62 cfm.

d=4.79" =equivalente a 6"

i) Ubicación de la tubería

e=b / 3 =16".

j) Diámetro de ingreso a cabezal

Cada caja de vacío es repartida en 620 cfm. Para la velocidad sugerida del ducto de ingreso al cabezal de 20 m/s. Calculamos

$$f = 2 * \sqrt{\frac{Q}{(\pi * 60 * V)}}$$

V_{sug}=20m/s.

f=5.37''=equivalente a 6".

Para los cálculos salientes en decimales se sugiere la necesidad de dimensionar al número posterior normalizado para tuberías.

La figura 57 muestra en detalle la distribución de los separadores para la máquina PPX-1.

Cabe recalcar que los cálculos realizados se realizaron tanto para un separador de la zona de bajo vacío y un separador de la zona de alto vacío. Los demás separadores son equivalentes a ellos.

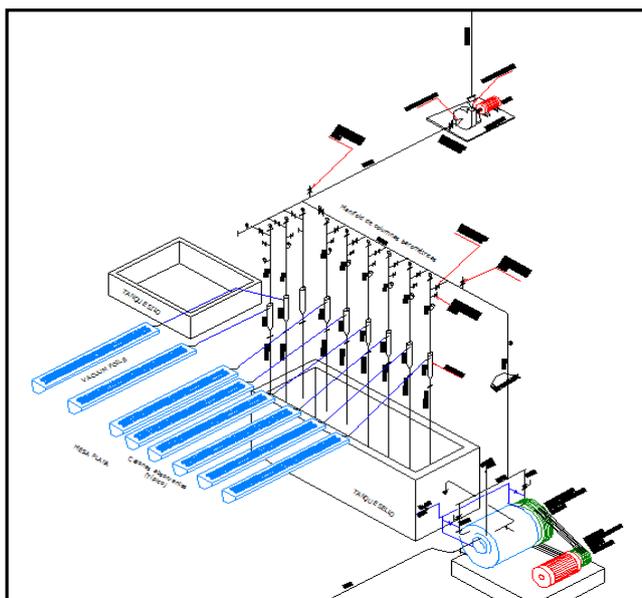


Fig 57. Puesta en marcha del sistema.



Fig 58. Modelado 3d de los cajones de bajo y alto vacío.

La figura 58 nos muestra una distribución en 3d de las zonas de bajo vacío y alto vacío, Observamos la disposición de los dos cajones de bajo vacío o llamados vacuum foils entre la zona de hidrofóils y

cajones de alto vacío. Además observamos la disposición de los seis cajones de alto vacío entre los vacuum foils y la zona del Couch.

3.3.8 Vacío en la zona de prensas.

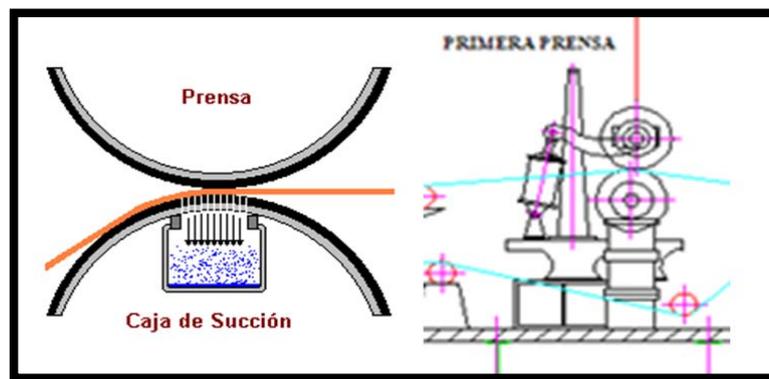


Fig 59. Succión del agua en la zona de prensas.

El vacío en las prensas tiene por finalidad eliminar la humedad por medios mecánicos y vacíos inducidos por bombas de vacío, la calidad de vacío van desde 20 a 22 pulgadas de mercurio

El efecto de una prensa se basa en el efecto termodinámico, debido a que la hoja ya no contiene suficiente agua y el exprimido por un diferencial de presión ya no es suficiente, entonces un NIP que es una presión lineal originada por el aplique del rollo superior sobre el inferior.

Uno de los puntos importantes a pesar que no se detalla con profundidad en esta tesis es conservar las propiedades de absorción del fieltro para siempre mantener una condición de prensado óptima, además de mejorar los nips los cuales son equivalentes a 70 Kn/m, consideramos cambiar las prensas por una

prensa zapata o una jumbo con un nip equivalente a 280 kn/m además de un fieltro tándem que permita reducir los tiros de la máquina en esa zona. El objetivo sería reducir aún más el consumo de vapor por reducir la humedad en la zona de prensas hasta en un 4% y dar runnability al papel.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL POR PRESIÓN DIFERENCIAL EN LA ZONA SECA DE LA MÁQUINA DE PAPEL

4.1. Partes de la zona seca de una máquina de papel

En la zona seca el agua se remueve por evaporación, el calor necesario para esta operación es suministrado por el vapor en condiciones de saturación el cual se introduce en el cilindro secador. El agua evaporada de la hoja de papel es extraída por extractores y la remoción del condensado formado en el interior del cilindro es realizado por medio de sifones a través de diferenciales de presiones controladas en el sistema.

La eficiencia del proceso de secado depende principalmente de la efectiva extracción del agua condensada producida al ceder el vapor su calor latente al cilindro para secar el papel. Para obtener un sistema de vapor y condensado óptimo para nuestro sistema escogimos un control por presiones diferenciales las cuales tocaremos en el siguiente capítulo.

Nuestro sistema analizado se encuentra formado por 4 grupos eléctricos y 5 grupos termodinámicos.

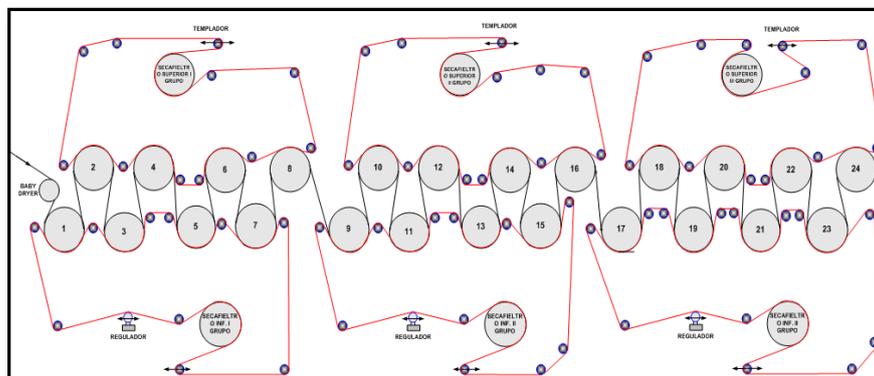


Fig. 60. Zona seca de una máquina papelera.

4.1.1 Cilindro Secador

Son cilindros de hierro fundido que tienen dos funciones primordiales sobre el sistema cediendo el área de secado que les permita transferir el calor desde el vapor al papel y trasladar por medio de fieltros el papel de un destino a otros. Los cilindros secadores se dividen por grupos térmicos

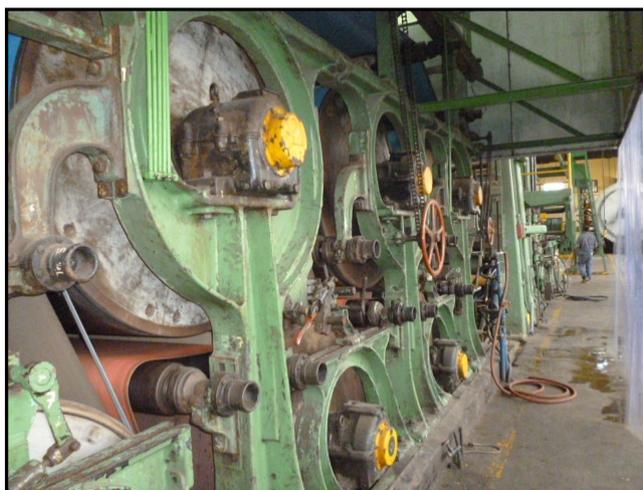


Fig. 61. Cilindros secadores de hierro fundido.

4.1.2 Sifones

Los sifones podría decirse son la parte más importante del sistema de secado debido a que gracias a ellos podemos tener:

- *Una mejor evacuación de condensado de los cilindros secadores
- *Una mayor uniformidad en la humedad del papel al pasar por el cilindro
- *Reducción en el thickness del condensado
- *Reducción en la potencia de los motores para el movimiento de los grupos de secado.

El desarrollo de los sifones fue con la intención de mejorar la evacuación del condensado para una alta eficiencia térmica y por ende mejorar la operación del secado, para sus aplicaciones en diferentes velocidades se han clasificado en dos clases:

4.1.2.1. Sifones estacionarios: Se ha probado que son excelentes para velocidades desde los 150 mpm a más ,esto es debido que tanto a bajas como altas velocidades el contacto con el condensado es permanente permitiendo un desalojo continuo a bajas presiones y diferenciales, esto se resume en menor consumo de vapor. El problema de ellos es el mantenimiento periódico que debe realizarse ya que debido al esfuerzo físico sometido en el compartimiento puede generarse quiebres. Es muy útil mantener un montaje rígido en las juntas y desarrollar un soporte de fijación.

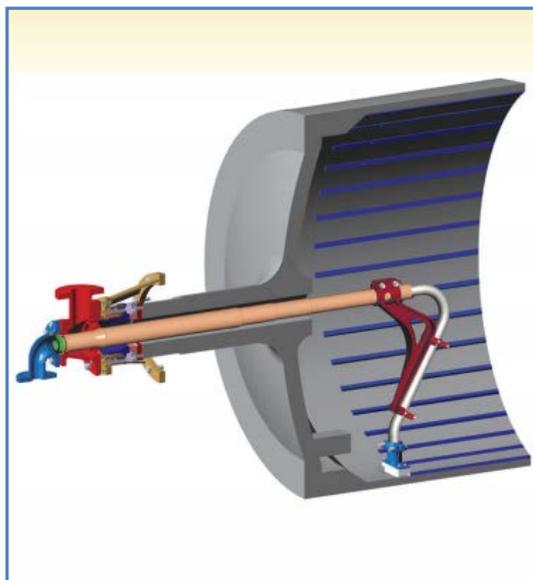


Fig. 62. Sifón estacionario modelo Kadant.

Los sifones estacionarios poseen muchas ventajas pues trabajan a diferenciales de presión bajas produciendo un vapor de arrastre ínfimo, por tanto el consumo de vapor vivo es menor.

4.1.2.2. Sifones rotatorios: Dentro de sus ventajas es que posee una alta confiabilidad mecánica al no poseer un montaje rígido en las juntas rotatorias. Además podemos controlar la luz de contacto entre secador mejorando la succión de condensado.

Los sifones rotatorios sin embargo requieren de una alta diferencial de presión por tanto vapor motriz y el vapor de arrastre que escapa es un 20% mayor y están propensos a formar inundaciones a altas velocidades.

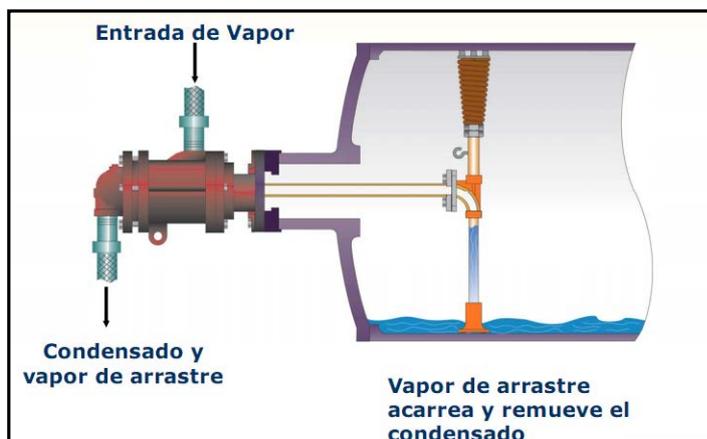


Fig. 63. Sifón rotatorio modelo Kadant.

4.1.3 Tanques separadores

Los tanques separadores o llamados tanques flash tienen como finalidad reutilizar el revaporizado o flash producido del condensado saturado, que al ser desalojado del medio que lo contiene, reduce su presión revaporizándose parcialmente y alcanzando además la misma temperatura del vapor.

Este sistema actúa como un recolector, separador y distribuidor ya que al ingresar el revaporizado parcial, éste se separa y el vapor flash sale por la abertura superior hacia un lugar preestablecido, mientras el condensado restante se descarga a través de un filtro y una trampa hacia la tubería que conecta hacia el tanque receptor de condensado para luego ser bombeado a la caldera con el objetivo de consumir la menor cantidad de energía.

La **figura 64** muestra en detalle el tanque flash, mostrando los ductos de entrada y salida del revaporizado y condensado respectivamente.

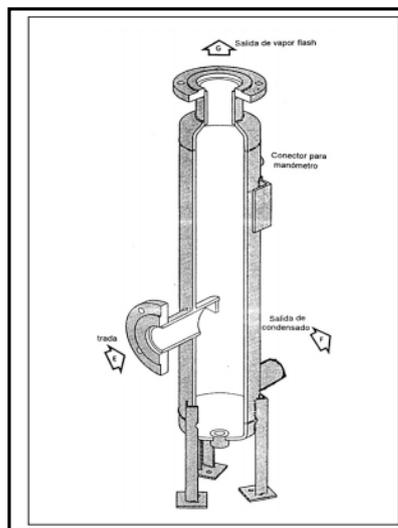


Fig. 64. Tanque flash

4.2 Cálculo en el sistema atemperador del sistema de vapor y condensado

En muchas plantas papeleras el vapor es sobrecalentado y distribuido a alta presión por razones de eficiencia. Las líneas para transportar vapor sobrecalentado son de menor tamaño, dado el bajo volumen específico del vapor. Sin embargo para la inyección de vapor a los secadores de una máquina papelerá necesitamos que se encuentre en una condición de saturación por su facilidad de distribuir el calor latente al papel. Por eso la necesidad de usar Atemperadores o Desuperheaters que son diseñados para reducir la temperatura del vapor sobrecalentado por medio de la inyección de agua de condensado previamente tratada para optimizar la eficiencia y transferencia del calor. Existen diferentes tipos de atemperadores como los tipo spray, los tipo venturi así como los de eyector atomizante. La **figura 65** muestra el atemperador más popular y el que poseemos el tipo spray. La **figura 66** nos muestra la instrumentación para controlar la temperatura de seteo y calcularemos las condiciones de operación

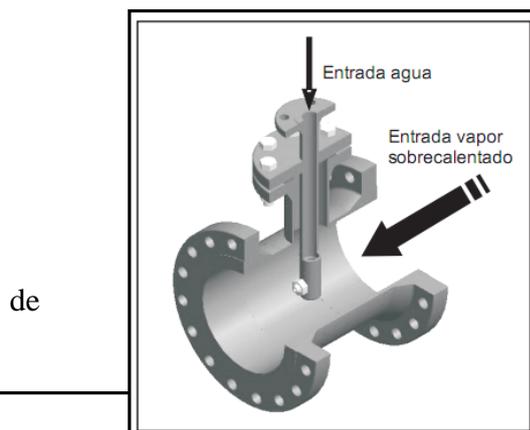


Fig 65. Atemperador vapor tipo spray

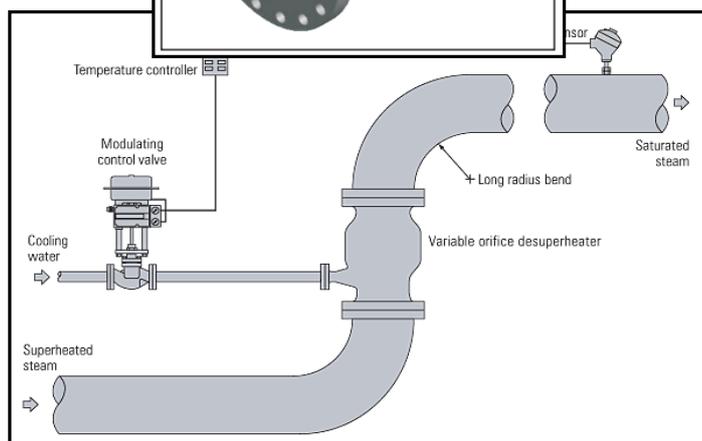


Fig 66. Control de temperatura en un desuperheater.

Condiciones de Operación

Las condiciones de operación consiste en mantener en todo momento la temperatura de saturación para la presión de línea operada. Además calcularemos el flujo de agua necesario para mantener el balance de energía del sistema.

Las condiciones de operación en los tres puntos analizados son las siguientes:

1.-P=45 psi T=320°F	h1=1192.48 btu/lb	Vapor sobrecalentado
2.-P=80 psi T=312.037°F	h2=294.501 btu/lb	Líquido Comprimido
3.-P=45 psi T=292 °F	h3=1177.94 btu/lb	Vapor saturado

Instrumentación

Para las condiciones de líquido comprimido se considera su aproximación a líquido saturado. La instrumentación se basa en poder tener un control en lazo cerrado de la temperatura del vapor sesteándola a un valor de temperatura de 292.4°F para una condición de saturación del vapor a 45 psi.

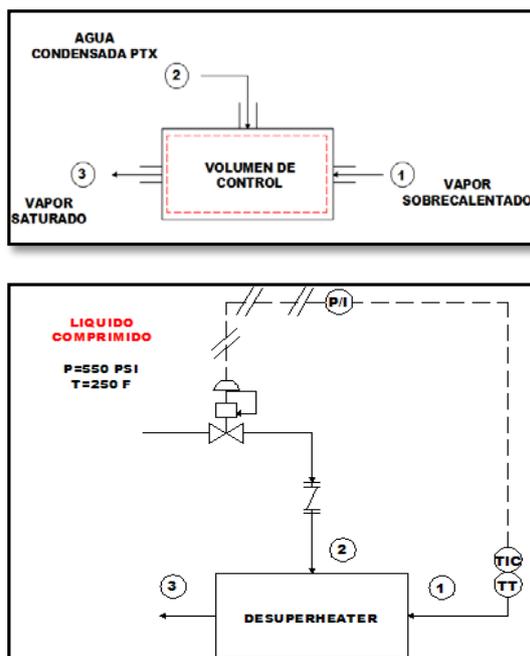


Fig 67. Sistema de control desuperheater.

Cálculo.

Considerando al desuperheater un sistema adiabático.

$$\dot{m}_1 * h_1 + \dot{m}_2 * h_2 = \dot{m}_3 * h_3 \quad (\text{Ecuación de la conservación de la energía})... (I)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 \text{ (Ecuación de la conservación de la masa)..... (II)}$$

Ecuación (II) en (I) y reemplazando las entalpías de las tablas termodinámicas

$$\dot{m}_2 = 0.0164 * \dot{m}_1$$

Si en la máquina necesitamos consumir $\dot{m}_3 = 20\,000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$

Resolviendo las ecuaciones tenemos:

$$\dot{m}_1 = 19676.11 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_2 = 323.8 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

El flujo máximo de condensado sería 323.8 lb/h el cual podríamos retirarlo del tanque de condensado general.

4.3 Selección e implementación del sistema de control por presión diferencial en la zona seca de una máquina de papel.

4.3.1 Sistemas de drenaje moderno y selección

Hoy en el mundo del papel existen diversas técnicas para el diseño de sistemas de drenaje de condensado en cilindros secadores, la utilización de una técnica respecto a otra se basa en las condiciones de operación y estructura de la máquina.

Existen una variedad de sistemas tales son:

- Sistema utilizando termocompresores.
- Sistema Cascada
- Sistema Combinado

- Control DCS.
- Control de flujo por vapor de arrastre.
- Control por presión diferencial
- Condensador de vacío.

Daremos una descripción breve de los principales sistemas:

Sistema utilizando termocompresores.

La práctica de este sistema se basa en recomprimir un vapor para aumentar su temperatura y permitir su reutilización. Algunos autores utilizan otros nombres como eyectores, compresores jet .El termocompresor consta de tres partes: tobera, difusor y cámara de succión.

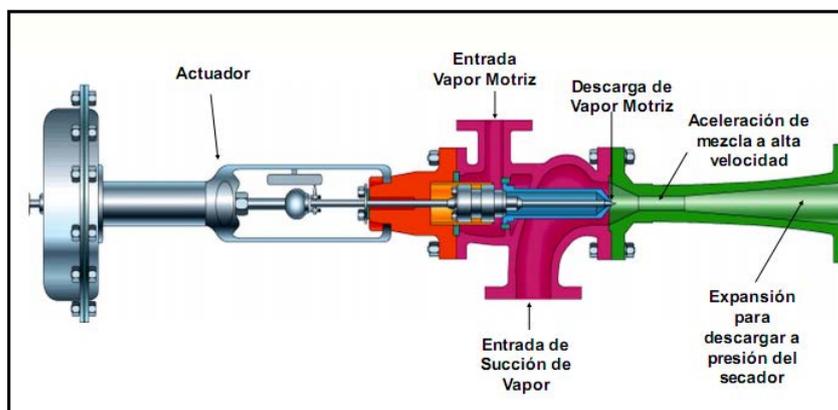


Fig 68.Componentes del termocompresor.

El principio de funcionamiento está dada por un fluido a alta presión que al pasar por una tobera se busca lograr las máximas velocidades del flujo. Este fluído a alta velocidad a la salida produce una zona de muy baja presión en la

cámara de mezcla como consecuencia de muy baja temperatura, esta baja presión origina la succión del fluido que se desea mezclar. Idealmente se produce un intercambio de momentos (mv) originándose un flujo ya mezclado a una velocidad intermedia entre la del fluido motriz y el succionado .A continuación el difusor reduce la velocidad de este fluido transformando esta energía cinética en presión a la descarga.

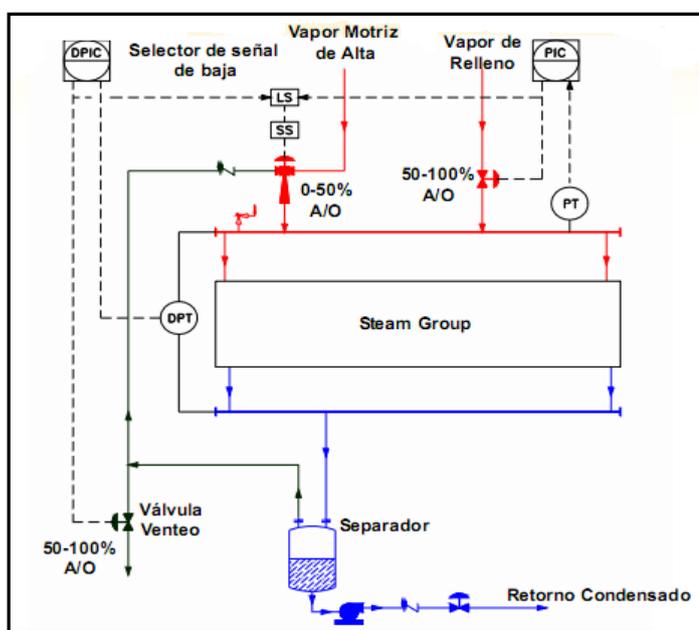


Fig 69.Sistema típico con termostato

El sistema por termostato nos facilita un rango extenso de operación en la presión, con fácil operación y buen control de la humedad sin embargo el alto costo por el uso de vapor motriz a alta presión, válvulas de alivio y el termostato hacen que el sistema sea ineficiente para producciones de un tipo de papel en particular que trabaje bajo rangos pequeños.

Sistema Cascada

Este sistema se basa en reutilizar el vapor flash recuperado en los tanques de condensado hacia las baterías de secado. A diferencia del sistema con termocompresor disminuimos considerablemente la entrada de vapor vivo al sistema, por tanto el costo de operación es mínima, sin embargo es más difícil controlar, por eso es importante contar con la instrumentación adecuada para poder sacarle el máximo provecho.

Para la ejecución del sistema debemos mantener siempre que la retroalimentación de vapor flash vaya a un grupo de menor presión, caso contrario podría provocar sobrepresión en los tanques separadores.

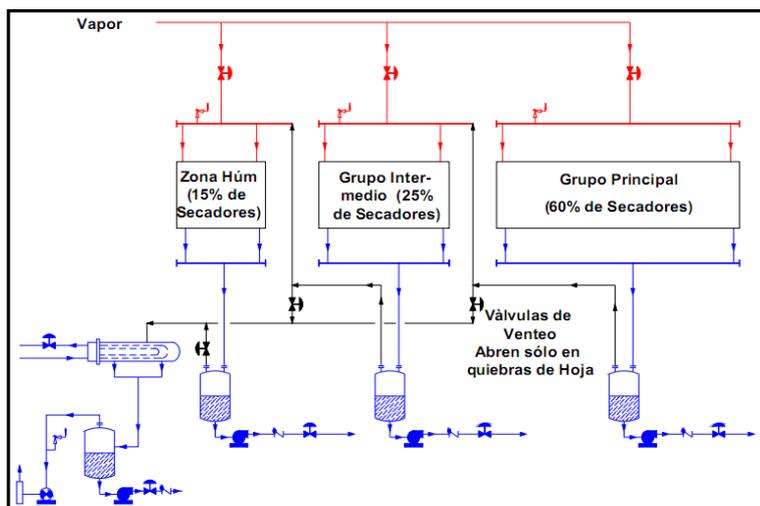


Fig 70.Sistema típico con cascada

Sistema por control de flujo de arrastre

Se basa en controlar proporcionalmente la entrada de vapor vivo en un grupo termodinámico en función al flujo generado de flash en un tanque de condensado.

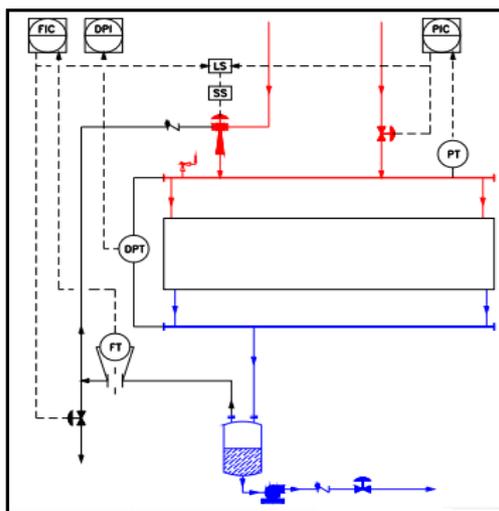


Fig 71. Sistema por control de flujo de arrastre

Sistema por control de presión diferencial

Se basa en controlar la entrada del revaporizado a las baterías de secado en función al diferencial de presión, no debemos olvidar que controlando el diferencial garantizamos una evacuación de condensado y por tanto una mejor eficiencia en el secado.

La instrumentación se basa en utilizar en cada manifolds de entrada de vapor y salida de condensado transmisores diferenciales de presión que nos permita controlar la entrada de flujo de vapor flash sin disminuir el desalajo de condensado.

El reutilizar el flash nos permite cerrar en menor proporción la entrada de vapor vivo y por tanto reducir los gastos.

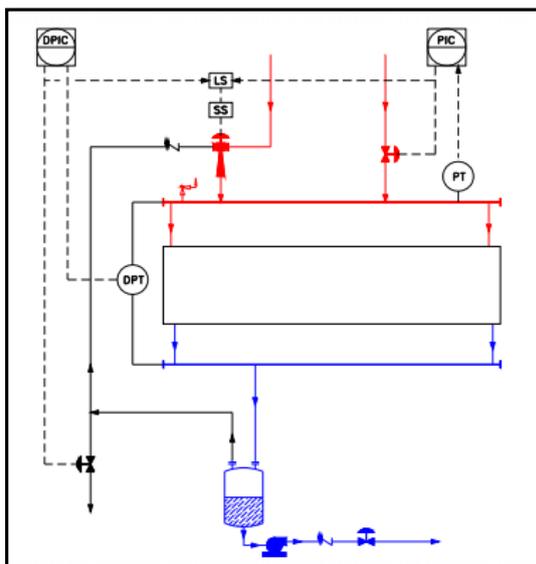


Fig 72. Sistema por control de presión diferencial

Por tanto el sistema seleccionado para nuestro sistema de vapor y condensado es el sistema cascada por tener un rango de presiones limitados por producir solo una calidad de papel y utilizaremos el control por presión diferencial para controlar el uso del vapor flash y reducir el consumo de vapor vivo.

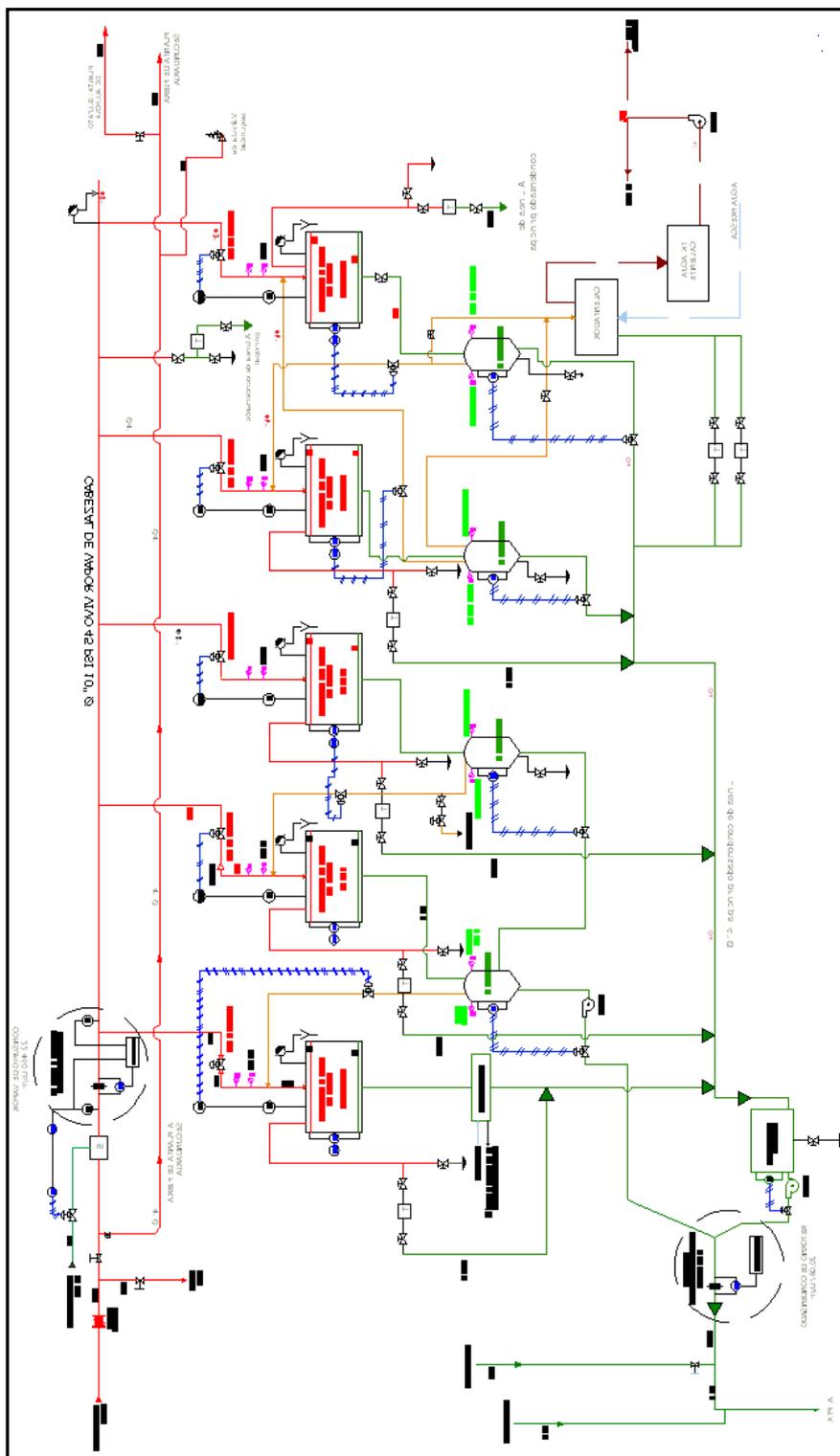


Fig 73.Sistema por control de presión diferencial en la PPX-1

4.3.2 Sistema de control clásico aplicado

Hoy en día los controles automáticos industriales se clasifican de acuerdo a la acción de control y estas se clasifican en:

➤ **Control de dos posiciones (ON-OFF)**

Para este tipo de control el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas conectado (ON) o desconectado (OFF).

➤ **Control proporcional (P)**

La relación entre la salida del controlador $y(t)$ y la salida de la señal de error actuante $e(t)$ está dada por la ecuación:

$$y(t) = K_p * e(t)$$

Donde la señal de error se expresa por la ecuación

$$e(t) = ref - y(t)$$

➤ **Control integral (I)**

El valor de la salida del controlador $y(t)$ varía proporcionalmente a la señal de error actuante $e(t)$. Dicha relación viene expresada por la ecuación:

$$y(t) = K_i * \int_0^t e(t) dt$$

➤ **Control proporcional e integral (PI)**

Llamada también PI, está definida por la ecuación:

$$y(t) = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(t) dt$$

➤ **Control proporcional , integral y derivativo (PID)**

$$y(t) = K_p * e(t) + K_d * \frac{de(t)}{dt} + K_i * \int_0^t e(t) dt$$

El método de control aplicado es el PI, debido a que la constante diferencial genera sobreoscilaciones sobre el sistema. El método aplicado es el método Ziegler y Nichols (Método de Oscilaciones del sistema).

➤ Método de Oscilación

Se basa en incrementar la ganancia proporcional hasta generar una oscilación continua sobre el sistema. Estas oscilaciones son observadas en el controlador y seguidamente se regula la acción integral hasta lograr la estabilidad del sistema.

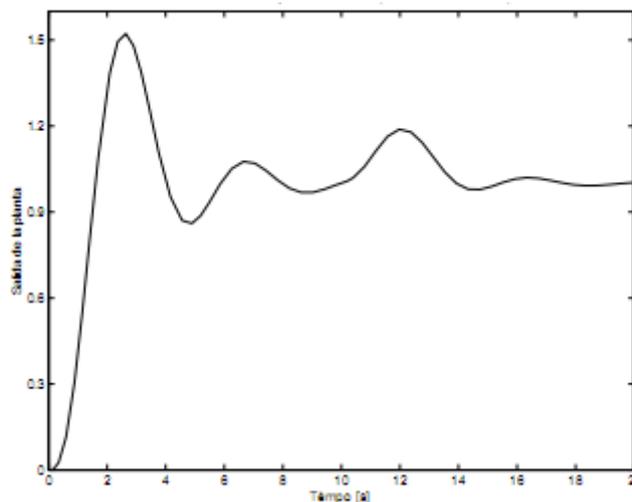


Fig 74.Sistema de amortiguación PI.

	Grupo I	Grupo II	Grupo III		Grupo IV		Grupo V	
	LAZO 1	LAZO 2	LAZO 3	LAZO 4	LAZO 5	LAZO 6	LAZO 7	LAZO 8
Proporcional (Kp)	3	2.8	2.7	2.9	3	3.1	2.87	2.9
Integral (Ki)	1.08	0.5	0.8	0.8	0.9	1.1	1.03	1.5

Tabla 3. Sintonización de los 8 lazos PI del sistema de vapor y condensado

4.3.3 Implementación del sistema de control por presión diferencial

La implementación se realizará desde el ingreso de vapor al sistema utilizando la simbología ISA.

4.3.3.1 Saturación del vapor

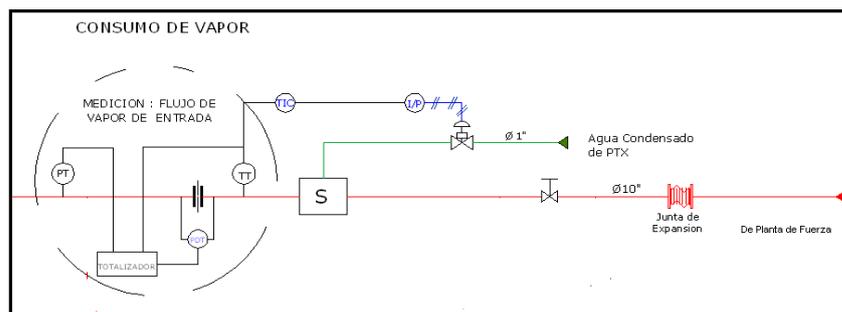


Fig 75.Etapa de saturación del vapor

Detalle:

Planta de fuerza nos envía un vapor a una condición de sobresaturación para garantizar la menor pérdida posibles en el trayecto, al ingresar a máquina este vapor es sometido a un desuperheater o llamado atemperador con el fin de que el vapor pase a una condición de saturación, estado el cual nos proveerá la mejor energía para el secado del papel.

El control será de tipo forward usando la estrategia PID, como el desuperheater solo cambiará el estado de temperatura del vapor manteniendo constante su presión utilizaremos los siguientes equipos:

- Transmisor de temperatura (TT) salida 4-20ma rango 100-200°C.
- Transmisor de presión (PT) salida 4-20ma rango 0-50 psi.
- Controlador indicador de temperatura (Control PID)

- Conversor I/P(4-20ma a 3-15psi)
- Válvula neumática con posicionador 3-15 psi tipo mariposa.
- Una placa orificio para la medición del flujo
- Un totalizador electrónico para las compensaciones por presión y temperatura del vapor

La finalidad es controlar el flujo de agua de entrada para pulverizarlo por el desuperheater y compensar la temperatura de acuerdo a la presión de saturación deseada en este caso 45psi.

En la etapa de saturación también se mide el flujo de entrada de vapor a través de un totalizador de flujo másico que realiza compensaciones de presión y temperatura por ser el vapor un elemento compresible.

4.3.3.2 Primer Grupo

Detalle

Como la hoja aún se encuentra con un porcentaje de humedad alto a la salida del sistema de prensas se recomienda generar una curva de secado similar a una campana de Gauss, como deseamos una temperatura de secado baja no es necesario gastar energía en bajar la presión del vapor vivo de 45 a 4 psi por tanto utilizamos un vapor recuperado de los tanques flash el cual se encuentra a una presión y temperatura baja.

El control será de tipo forward controlando la presión de ingreso a los grupos mediante los siguientes instrumentos:

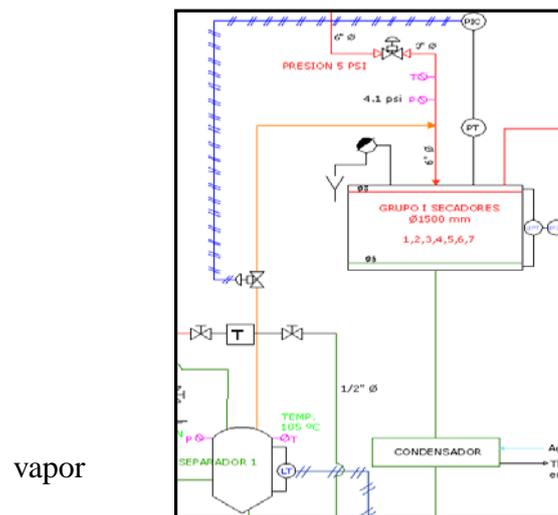


Fig76. Primer grupo de

vapor

- Transmisor de presión (PT) salida 4-20ma rango 0-50psi.
- Controlador indicador de presión (Control PID).
- Conversor I/P(4-20ma a 3-15psi).
- Válvula neumática con posicionador 3-15psi.
- Válvula de seguridad si es que existe una sobrepresión en el manifolds.

4.3.3.3 Segundo y Tercer grupo

Detalle:

La hoja al pasar al segundo grupo termodinámico se encuentra más resistente y por tanto aumentamos un poco más el grado de temperatura combinando presión de vapor vivo con flash proveniente del tercer grupo termodinámico compensando la temperatura deseada, es importante tener

un buen control sobre la diferencial de vapor porque gracias a ello estamos indirectamente controlando el drenaje de condensado del manifolds de salida.

Al tercer grupo termodinámico por encontrarse el papel en su mejor condición para calentarlo, le ingresamos vapor vivo a una presión cercana a 38 psi.

El control se basa en un lazo PI de presión para el segundo grupo y en dos lazos PI de presión y diferencial de presión para el tercer grupo termodinámico.

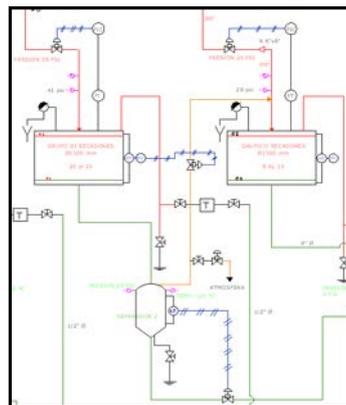


Fig 77.Segundo y tercer grupo termodinámico.

4.3.3.4 Quinto y Sexto Grupo.

Detalle:

La hoja después de pasar por el tercer grupo prácticamente está seco entonces en los siguientes grupos debemos bajar la temperatura porque si seguimos manteniendo la temperatura alta el papel se puede quemar.

Los grupos V y VI se basan en dos lazos PI cada uno de ellos de presión y diferencial de presión trabajando con presiones de 30 y 36 psi respectivamente.

Es importante describir que cada grupo termodinámico consta de válvulas de seguridad para posibles sobrepresiones que puedan causar en la línea explosiones.

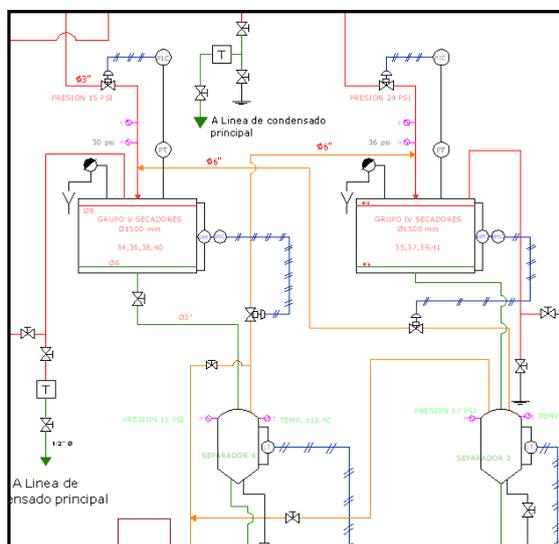


Fig 78. Quinto y cuarto grupo termodinámico.

4.3.3.5 Tanques separadores.

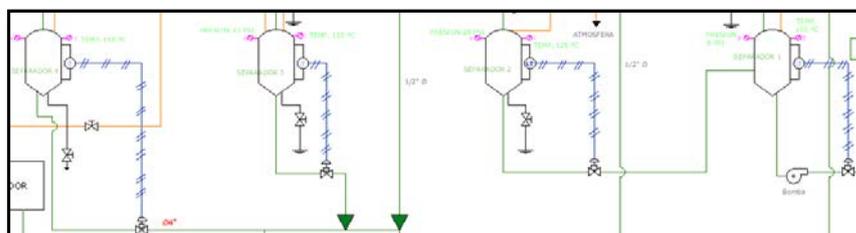


FIG 79. Tanques separadores.

Detalle:

Consta de transmisores de nivel con señal que accionan neumáticamente las válvula automática para el defogúe del condensado a una línea principal de condensado el cual retornara a planta de fuerza para ser reprocesado. La máquina ppx-1 consta de un tanque recolector al cual denominamos tanque sótano el cual posee una bomba que transportará el condensado a planta de fuerza.

4.3.3.6 Flujo de condensado de salida**Detalle:**

Consta de un transmisor tipo placa orificio que mide el flujo de salida de condensado de la máquina hacia planta de fuerza para su reprocesamiento. La instrumentación está basada en un registro continuo de flujo a través de un totalizador para estas condiciones el líquido es incompresible por tanto no necesita correcciones en el totalizador.

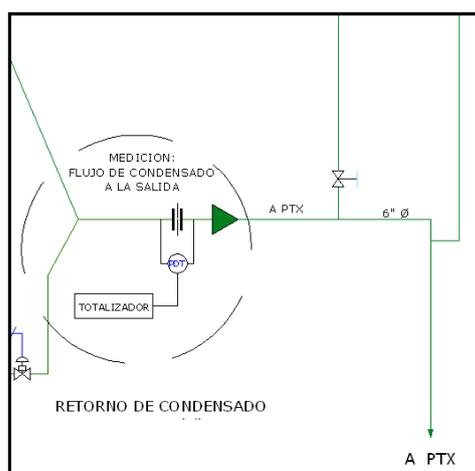


Fig 80. Flujo de condensado de salida de máquina.

4.4 Eliminación del condensado en el sistema de vapor y condensado PPX-1

Las caídas de presiones generadas por pérdidas primarias y secundarias en tuberías generan que parte del flujo de vapor enviada a máquina condense y si no es evacuada de forma inmediata puede provocar golpes de ariete o enfriamiento en la zona de secado. Es por eso la necesidad de contar con un sistema de trampas de vapor cuya función principal es desalojar el condensado formado antes de llegar al sistema.

4.4.1 Clases de trampas: Existen varias clases de trampas pero se pueden clasificar en tres grupos principales.

4.4.1.1 Grupo Mecánico: Las trampas mecánicas funcionan bajo el principio de diferencia de densidades entre el vapor y condensado, abriendo una válvula mecánicamente pero que en presencia de vapor se mantiene cerrada. Existen una serie de tipos que se diferencian por la descarga continua e intermitente de condensado.

- **Tipo flotador con palanca:** Tiene la base de funcionamiento de una trampa flotador libre, posee una descarga continua de condensado lo que lo hace ideal en procesos continuos críticos como radiadores.

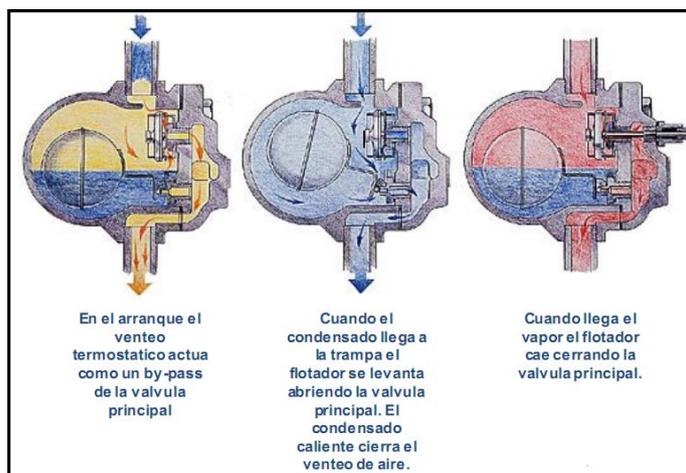


Fig 81.Trampas de vapor tipo flotador

Ventajas

Al no tener mecanismo mecánico que trabaje, es difícil que se deteriore por lo que su mantenimiento es muy económico.

Desventajas

La válvula de salida que proporciona un tapón de agua a través del cual no escapara vapor pero también obstruye al aire que puede ser albergado por tanto para evacuar el aire es necesario instalar una válvula de venteo de aire.

Otro inconveniente resulta difícil ajustar el flotador y la pequeña válvula para que se encuentre perfectamente sellada.

Estas trampas de vapor son muy sensibles a golpes de ariete en la líneas, sin embargo podemos protegerlo ubicando una válvula check a continuación.

- **Tipo Balde Invertido**

En este tipo, la válvula es accionada por un balde y no por un flotador, las más conocidas de esta clase son los de tipo balde invertido.

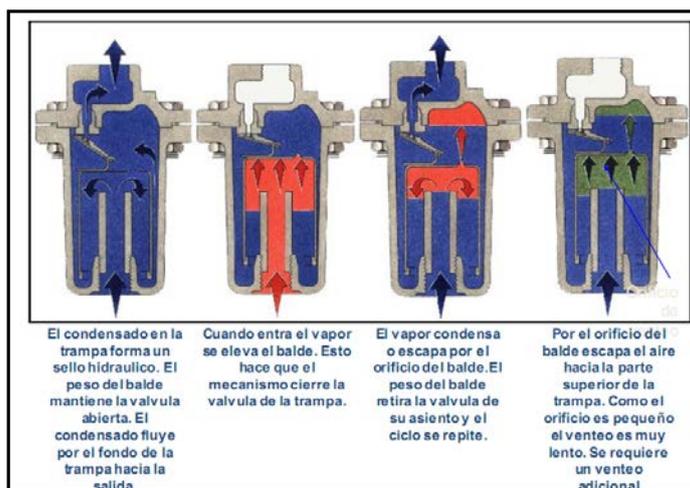


Fig 82. Trampas de vapor tipo balde invertido.

Ventajas

Las partes mecánicas son simples y son difíciles que se averíen, puede resistir golpes de ariete

Desventajas

Cuando no llega condensado a la trampa, parte del vapor que hay en el balde se escapa y el resto se condensará haciendo caer el balde y dejando salir el agua así formada. En este momento la trampa actúa como un condensador de vapor y desperdicia parte del calor del mismo, Por ello se puede asegurar que este tipo de trampa no es económico. Además no responde bien a las variaciones de presión y condensado.

4.4.1.2 Grupo Termostático: Las trampas termostáticas operan sensando la temperatura del condensado, cuando la temperatura cae a un valor específico, por debajo de la temperatura del vapor, la trampa termostática abrirá para liberar el condensado. Las trampas de tipo termostático se dividen en dos grupos;

- **Tipo termostático de presión equilibrada:** En la figura se observa la pieza A es el elemento termostático, es un tubo metálico que ha sido corrugado de forma tal que pueda dilatarse o contraerse longitudinalmente, Este tubo está cerrado en ambos extremos. En uno de los extremos está colocada la válvula B que se asienta perfectamente sobre C cuando el elemento se dilata. El otro extremo del elemento termostático está sujeto lo que hace que todos los fenómenos de dilatación y contracción actúen sobre el extremo libre B.

El tubo corrugado contiene en su interior una mezcla alcohólica que tiene su punto de ebullición más baja que el agua. Esta mezcla alcohólica se calienta a la misma temperatura que el vapor luego se produce dentro del elemento termostático una presión superior a la del vapor que lo rodea por tanto el elemento se dilata hasta que la válvula B hace tope en C. Entonces la presión interior del

elemento mantendrá firmemente la válvula contra su asiento hasta que la mezcla alcohólica se enfríe y permita que el elemento se contraiga.

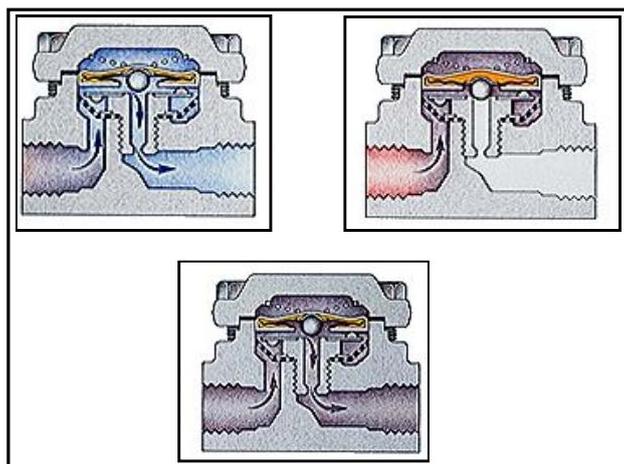


FIG 83. Trampas de presión equilibrada

Ventaja

Son de tamaño reducido y tienen la gran capacidad de descarga de condensado y aire.

Este tipo de trampa se autoajusta automáticamente de acuerdo a las variaciones de presión.

- **Tipo dilatación mecánica:**

Es similar al de expansión líquida la diferencia consiste en lugar de obtener el movimiento de la válvula por dilatación y contracción de aceite lo logra por dilatación y contracción de un vástago metálico.

Sin embargo a causa de que el vástago tiene un coeficiente de dilatación menor que la del aceite este tipo de dilatación no es tan sensible a las variaciones de temperatura como el de expansión líquida. Una de las clases mayormente conocida se encuentra la de tipo bimetálico donde el cierre de la válvula se obtiene por la curvatura de una tira compuesta de dos metales cada uno de los cuales tiene un coeficiente de dilatación distinto a una temperatura determinada.

Ventajas

Resisten los golpes de ariete y el condensado corrosivo mejor que las trampas de presión equilibrada

Es de tamaño reducido por su gran capacidad de descarga de condensado.

4.4.1.3 Grupo Termodinámico: El principio se basa en que el condensado a una temperatura cercana a la del vapor produce un vapor flash que al salir por el orificio causa que la trampa cierre. El condensado está en el lado de la corriente de salida y la inundación asegura que no se pierda vapor a través de la trampa, pero el calor se libera por el bonete de la válvula y la trampa abrirá periódicamente haciendo que la descarga de condensado sea intermitente.

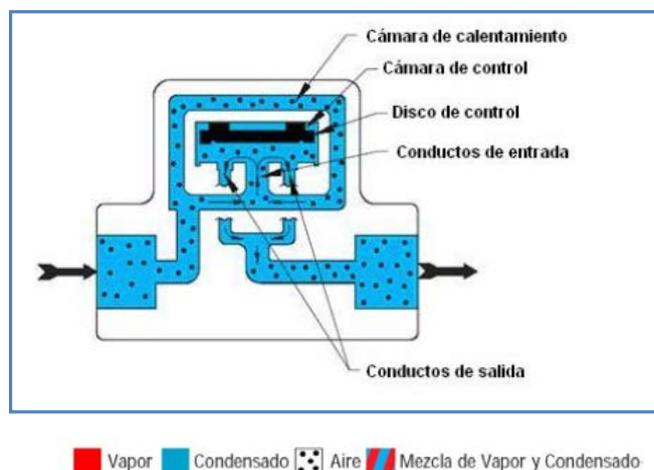


Fig 84.Trampas termodinámicas

El vapor ingresa por los conductos de entrada y fluye hasta debajo del disco de control, la velocidad de flujo a lo largo de la cara del disco se incrementa produciéndose una reducción en la presión que jala al disco hacia el asiento cerrando la trampa. El principio básico es un desbalance de presiones generada para la apertura y cierre.

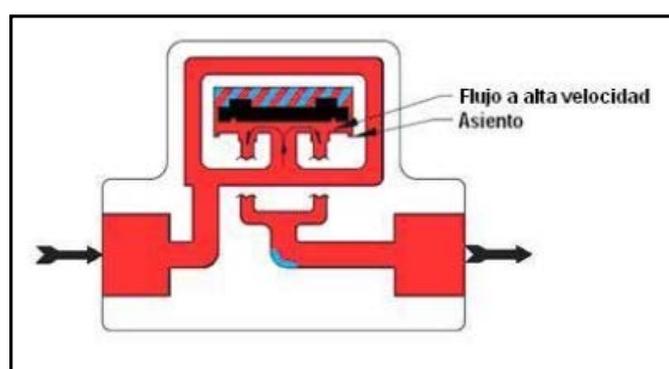


Fig 85.Cámara interior de una trampa termodinámica.

4.4.2 Criterios de selección de trampas de vapor para nuestro sistema

Para la selección de qué tipo de trampa usar debemos tener en cuenta:

1. Evaluar si no es deseable cambio de presiones momentáneas en la línea, de ahí se deduce si deseamos una trampa de descarga continua o intermitente.
2. Evaluar la máxima presión de operación
3. Evaluar que la trampa tenga opción de poder eliminar el aire y gases no condensables que suelen estar presentes en el arranque del sistema.
4. Dimensionar correctamente el tipo de trampa seleccionada para evitar que la trampa esté sobredimensionada y haya fugas de calor por radiación.

4.4.3 Trampas e ubicación en el sistema de vapor y condensado

El sistema de vapor y condensado de la maquina PPX-1 comienza desde el envío de vapor sobresaturado desde planta de fuerza a una presión de 50 grados centígrados considerando siempre una caída de presión por tubería.

Analicemos por tramos el tipo de trampa a usar:

Caldera nos envía una presión sobresaturada con el fin de reducir las menores pérdidas por caídas de temperatura. Como es deseable tener una trampa que sea robusta a golpes de ariete, sobrecalentamiento y

variaciones de presión la mejor opción es el uso de una trampa termodinámica de presión máxima de operación de 60 psi.

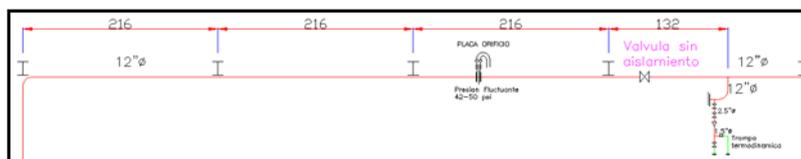


Fig 86. Trampa termodinámica ubicada cerca al caldero.

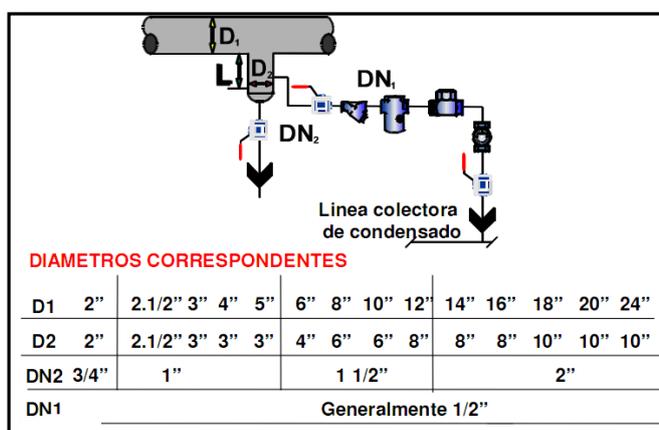


Fig 87. Norma de dimensionamiento de purgas y trampa.

Antes de ingresar al saturador colocamos una trampa de las mismas dimensiones. Cabe recalcar que para líneas de vapor principales la mejor opción recomendada son las trampas termodinámicas.

Luego de ser saturada se coloca una trampa termodinámica que purgará automáticamente cualquier formación de condensado provocado en la saturación.

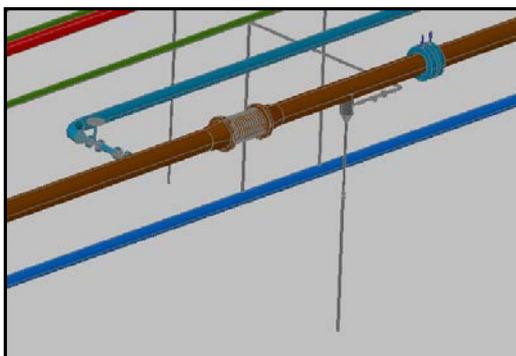


Fig 88. Trampa termodinámica cerca al saturador.

La trampa termodinámica seleccionada tiene como presión máxima de operación unos 45 psi y su descarga automática de condensado está conectado a la red principal de condensado de máquina para ser enviada nuevamente al caldero para su reproceso.

Se colocará luego trampas termodinámicas en cada manifold de entrada de vapor a los grupos secadores y sus purgas automáticas serán conectadas a la red de condensado principal para no perder nada de condensado.

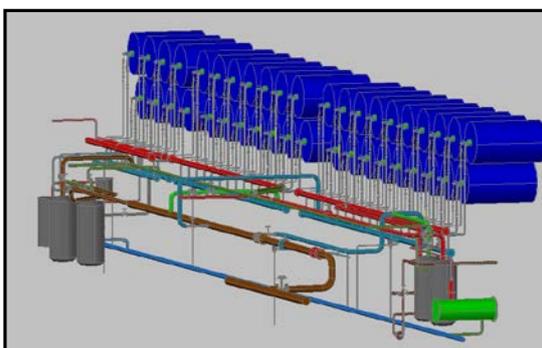


Fig 89. Trampas en grupo termodinámico

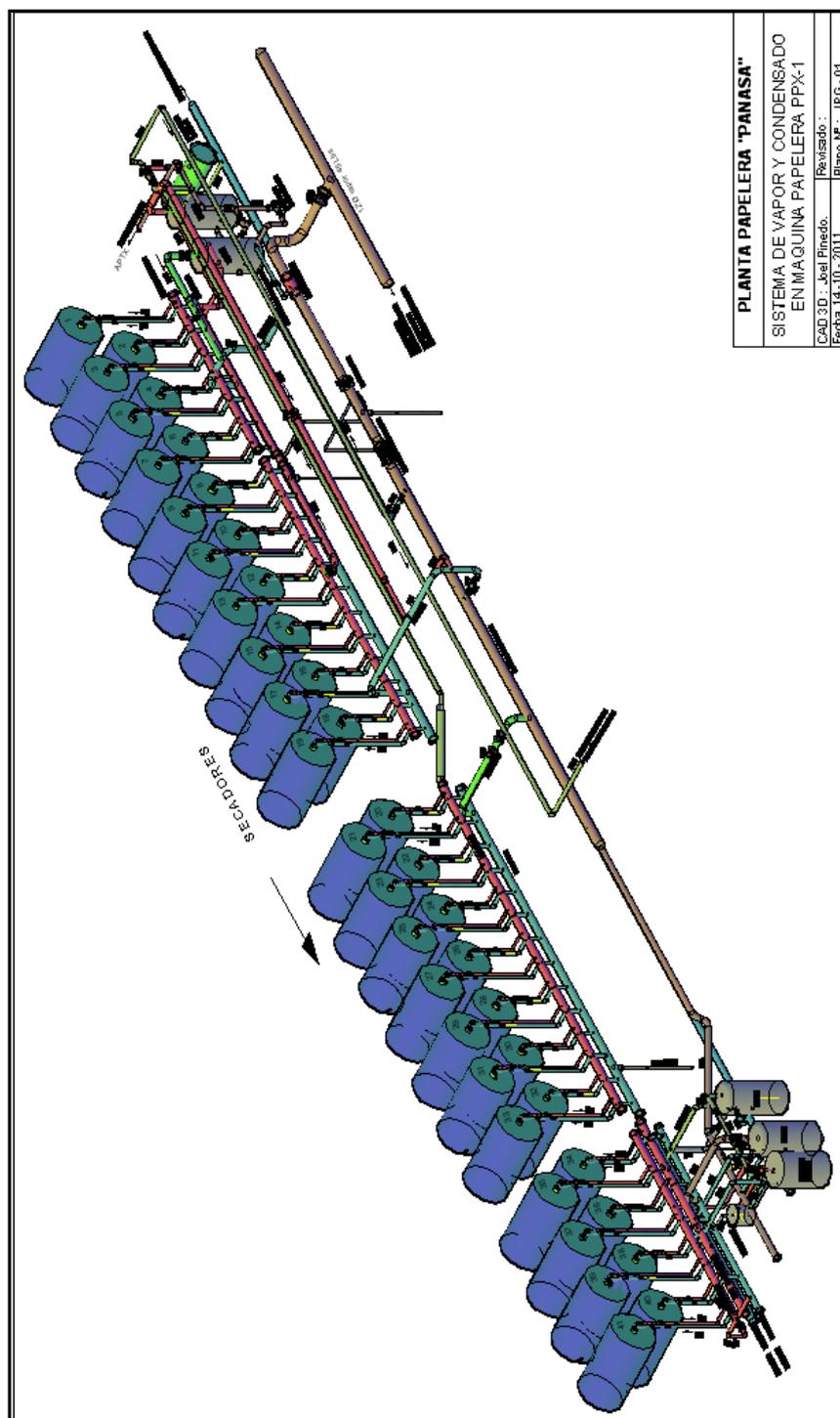


Fig 90. Sistema de vapor y condensado PPX-I

4.4.4 Dimensionamiento de los tanques separadores

El tanque flash tiene como finalidad reutilizar el revaporizado producido por el condensado saturado, que al ser desalojado del cilindro secador, reduce su presión revalorizándose parcialmente y alcanzando la misma temperatura del vapor.

El tanque por tanto actúa como un recolector, separador y distribuidor, debido que al ingresar el revaporizado parcial se separa, saliendo el vapor por la abertura superior, el condensado restante se descarga a través de un filtro y trampa hacia la tubería que conecta el tanque receptor de condensado.

Del flujo de entrada de vapor consumida, calcularemos el porcentaje de flujo másico en cada grupo en función directa al número de secadores alimentadores.

Grupo II : 11 secadores

Grupo III : 13 secadores

Grupo IV : 4 secadores

Grupo V : 4 secadores

Del total de flujo másico de 21000 lb/h, estimamos en forma proporcional la entrada a cada Grupo termodinámico por tanto tenemos:

Grupo II: 7562.5lb/h

Grupo III: 8937.5lb/h

Grupo IV: 2750 lb/h

Grupo V: 2750 lb/h

Debido al gran caudal de vapor consumido por los grupos termodinámicos II y III las consideraciones para los tanques flash son las siguientes:

➤ **Tanque flash 1 y 2**

Fabricación con las siguientes dimensiones $\text{Ø}450 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm}$, con material fabricado de acero estructural ASTM A36 de $\frac{1}{4}$ " espesor tanto para el cuerpo como las tapas. Contará con una conexión superior bridada de $5''\text{Ø}$ para la salida de flash y una conexión inferior bridada ANSI 150 $2''\text{Ø}$ para purga, conexión lateral bridada ANSI 150 $6''\text{Ø}$ para entrada de condensado, conexión lateral ANSI 150 $2''\text{Ø}$ para salida de condensado; 2 conexiones laterales mediante copla de $\frac{3}{4}''\text{Ø}$ para válvula de seguridad y manómetro; 02 conexiones laterales mediante coplas mixtas de $1''$ y recubierto con en su totalidad con pintura para alta temperatura color aluminio.

➤ **Tanque flash 3 y 4**

Fabricación con las siguientes dimensiones $\text{Ø}350 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$, con material fabricado de acero estructural ASTM A36 de $\frac{1}{4}$ " espesor tanto para el cuerpo como las tapas. Contará con una conexión superior bridada de $3''\text{Ø}$ para la salida de flash y una conexión inferior bridada ANSI 150 $2''\text{Ø}$ para purga, conexión lateral bridada ANSI 150 $4''\text{Ø}$ para entrada de condensado, conexión lateral ANSI 150 $2''\text{Ø}$ para salida de condensado; 2 conexiones laterales mediante copla de $\frac{3}{4}''\text{Ø}$ para válvula de seguridad y manómetro; 02 conexiones laterales mediante coplas mixtas de $1''$ y recubierto con en su totalidad con pintura para alta temperatura color aluminio.

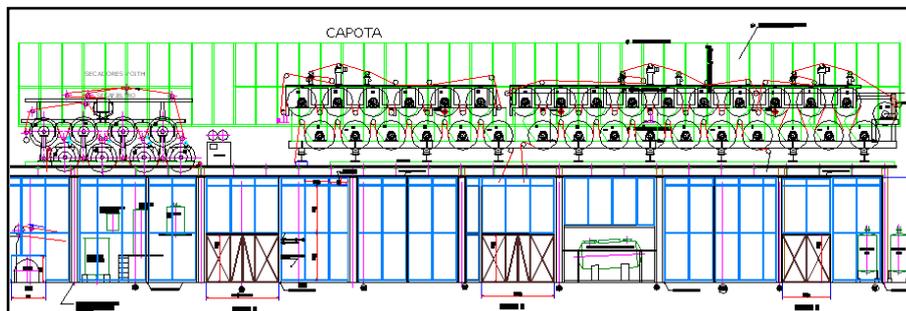


Fig 91.Ubicación de los separadores en el sistema de vapor y condensado.

4.5 Dimensionamiento de las líneas de vapor y condensado

4.5.1 Cálculo del mayor flujo másico.

Para el análisis se tomó el papel de menor gramaje y su mayor velocidad con proyección a correr a 300 m/ min.

Se obtuvo lo siguiente

- Tipo de Papel : Corrugado Medio
- Gramaje : 110 gr/m²
- Velocidad : 300 m/min
- Longitud del secador : 3150 mm
- Trim : 3050 mm

Obteniéndose:

$$Produccion = Gramaje \times Velocidad \times Trim = 144.94 \text{ ton/dia}$$

Considerando porcentaje de ingreso y final de la máquina de 60 a 7 % de humedad respectivamente.

- N de secadores : 39
- Diámetro del secador : 60"

- Área efectiva : 157.2 ft²
- Área del secador total : 5973 ft²

Obtenemos:

Libras de agua evaporada por hora: 17603.69.

Libras de papel seco por pies².hora: 2.22.

Libras de agua evaporada por pies².hora: 2.95.

Calor transferido: 3537 Btu/hr

$$H = U \cdot A \cdot \Delta T \dots (1)$$

H=Calor total de transferencia (BTU/hr)

A=Área en pies²

ΔT =Diferencia de temperatura (°F)

- Temperatura de evaporación del papel : 185 °F
- Presión de vapor :45 psi
- Temperatura de saturación : 292.5 °F
- Calor latente : 916 Btu/lb

Del cual obtenemos:

*Coeficiente de transferencia U: 33 Btu/ft².h.F

*Libras de vapor condensado por pies².hora: 3.86

*Promedio de libras de vapor por secador/hora: 606.9

*Añadiendo la perdida por radiación del secador 50lb/hr.

*Total de vapor condensado más radiación = 656.9 lb/hr

Lo cual hace un promedio de 25619.1 lb/hr de vapor consumido.

4.5.2 Diseño de líneas de distribución

Grupo I

VAPOR.-

Troncal de Vapor

Troncal de 4" Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y línea principal de vapor de 10" Ø a 45 psig).

Troncal de 6" Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y cabecero de vapor)
Presión de 8-12 psig.

Troncal de 2" Ø a 30 m/s (Entre el cabecero de vapor y secador).

Cabecero de vapor

Manifolds de vapor: 8" Ø de diámetro a 10 m/s.

Longitud aproximada de 6000 mm.

Tubo de A.C. ASTM A53 SCH 40.

CONDENSADO.-

Considerando el mismo flujo de condensado.

Troncal de Condensado

Troncal de 1 ¼" Ø (entre cabecero de condensado y secador).

Troncal de 3" Ø (entre cabecero y línea de condensado 1).

Cabecero de condensado

Diámetro: 6".

Longitud: 6000 mm aproximado.

Material: SCH 40.

Número de llegadas: (7) de 1 ¼" Ø troncal de condensado.

Número de salidas: (01) de 3" Ø troncal de condensado.

Grupo II

VAPOR.-

Troncal de Vapor

Troncal de 6" Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y línea principal de vapor de 10" Ø a 45 psig).

Troncal de 8" Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y cabecero de vapor).
Presión de 8-12 psig.

Troncal de 2 ½" Ø a 30 m/s (Entre el cabecero de vapor y secador).

Troncal de 4" Ø (línea de vapor flash N₁ y troncal de vapor de 6" Ø).

Cabecero de vapor

Manifolds de vapor: 8" Ø de diámetro a 10 m/s.

Longitud aproximada de 13000 mm.

Tubo de A.C. ASTM A53 SCH 40.

CONDENSADO.-

Considerando el mismo flujo de condensado.

Troncal de Condensado

Troncal de 1 ¼" Ø (entre cabecero de condensado y secador).

Troncal de 5" Ø (entre cabecero de condensado y Tk flash 1).

Cabecero de condensado

Diámetro: 6''.

Longitud: 13000 mm aproximado.

Material: SCH 40.

Número de llegadas: (14) de 1 ¼''Ø troncal de condensado.

Número de salidas: (01) de 5''Ø troncal de condensado.

Grupo III**VAPOR.-****Troncal de Vapor**

Troncal de 6''Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y línea principal de vapor de 10''Ø a 45 psig).

Troncal de 8''Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y cabecero de vapor)
Presión de 8-12 psig.

Troncal de 2''Ø a 30 m/s (Entre el cabecero de vapor y secador).

Troncal de 4''Ø (línea de vapor flash entre Tk flash 2 y cabecero de vapor de 8''Ø del grupo 2).

Cabecero de vapor

Manifolds de vapor: 8'' Ø de diámetro a 10 m/s.

Longitud aproximada de 12000 mm.

Tubo de A.C. ASTM A53 SCH 40.

CONDENSADO.-

Considerando el mismo flujo de condensado.

Troncal de Condensado

Troncal de 1" Ø (entre cabecero de condensado y secador).

Troncal de 5"Ø (entre cabecero de condensado y Tk flash 2).

Cabecero de condensado

Diámetro: 6".

Longitud: 12000 mm aproximado.

Material: SCH 40.

Número de llegadas: (12) de 1"Ø troncal de condensado.

Número de salidas: (01) de 5"Ø troncal de condensado

Grupo IV

VAPOR.-

Troncal de Vapor

Troncal de 4"Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y línea principal de vapor de 10"Ø a 45 psig).

Troncal de 5"Ø a 30 m/s (Entre válvula neumática y cabecero de vapor)
Presión de 8-12 psig.

Troncal de 2"Ø a 30 m/s (Entre el cabecero de vapor y secador).

Troncal de 3"Ø (línea de vapor flash Tk flash 5 y cabecero de vapor de 8"Ø del grupo IV).

Cabecero de vapor

Manifolds de vapor: 8"Ø de diámetro a 10 m/s

Longitud aproximada de 4000 mm
Tubo de A.C. ASTM A53 SCH 40.

CONDENSADO.-

Considerando el mismo flujo de condensado.

Troncal de Condensado

Troncal de $\frac{3}{4}$ " \varnothing (entre cabecero de condensado y secador).
Troncal de 5" \varnothing (entre cabecero de condensado y Tk flash 4).

Cabecero de condensado

Diámetro : 4".
Longitud : 4000 mm aproximado.
Material : SCH 40.
Número de llegadas : (5) de $\frac{3}{4}$ " \varnothing troncal de condensado.
Número de salidas : (01) de 3" \varnothing troncal de condensado.

Grupo V

VAPOR.-

Troncal de Vapor

Troncal de 4" \varnothing a 30 m/s (Entre válvula neumática y línea principal de vapor de 10" \varnothing a 45 psig).

Troncal de 5" \varnothing a 30 m/s (Entre válvula neumática y cabecero de vapor)
Presión de 8-12 psig.

Troncal de 2" \varnothing a 30 m/s (Entre el cabecero de vapor y secador).

Troncal de 3"Ø (línea de vapor flash entre Tk flash 4 y cabecero de vapor de 8"Ø del grupo V)

Cabecero de vapor

Manifolds de vapor: 8"Ø de diámetro a 10 m/s.

Longitud aproximada de 4000 mm.

Tubo de A.C. ASTM A53 SCH 40.

CONDENSADO.-

Considerando el mismo flujo de condensado.

Troncal de Condensado

Troncal de ¾" Ø (entre cabecero de condensado y secador).

Troncal de 5"Ø (entre cabecero de condensado y Tk flash 4).

Cabecero de condensado

Diámetro: 4".

Longitud: 4000 mm aproximado.

Material: SCH 40.

Número de llegadas: (5) de ¾"Ø troncal de condensado.

Número de salidas: (01) de 3"Ø troncal de condensado.

CAPITULO V

CONTROL REMOTO DEL SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO

5.1 HARDWARE DEL SISTEMA

El sistema automático estará compuesto de los siguientes elementos:

5.1.1 Controlador micrologix 1400

Pertenecientes a la familia de los controladores programables micrologix de Allen Bradley .Este controlador ofrece un mayor conteo de entradas y salidas, contador de alta velocidad y características mejoradas, luz de retroalimentación en el LCD. La programación comúnmente se da a través de la programación escalera mediante el software rslogix 500.

Las principales características del micrologix 1400 son:

- Espacio de datos en la programación 10K.
- 32 entradas y salidas discretas incorporadas
- 6 puertos analógicos incorporados con capacidad de expansión máxima.
- Reloj e tiempo real.
- Lazos PID.
- Comunicación Modbus RTU Maestro /Esclavo.
- Puerto RS232 y RS485 incluidos.
- Matemática de punto flotante.

- Opciones a diferentes idiomas.
- Protección contra sobrecorrientes.
- Herramienta de acceso a datos.
- Protección contra EMC.



Fig 92 .Controlador Micrologix 1400

5.1.2 Transmisor de presión

Los transmisores utilizados pertenecen al modelo IGP 20 -D, este transmisor inteligente de presión manométrica presenta las siguientes características:

- Display de cristal líquido.
- Ajuste del Zero.
- Salida de seguridad en baja escala y alta escala.
- Salida invertida o no invertida.
- Seteo del span.



Fig 93 .Transmisor de presión foxboro modelo IGP-20.

El transmisor de presión mide la presión al ser excitado un microsensor este convierte la señal física de presión a resistencia el cual es convertida a una señal de 4 a 20 ma proporcional a la presión.

5.1.3 Transmisor de presión diferencial

El transmisor de presión diferencial usado es un IDP10 el cual provee la señal mediante la diferencia de dos presiones aplicadas a los lados opuestos de un microsensor de silicio. Este microsensor convierte la señal de presión diferencial en una resistencia el cual lo convierte luego a una señal de 4 a 20 ma.



Fig 94 .Transmisor de presión diferencial foxboro modelo IDP-10.

5.1.4 Convertidor I/P

El convertidor de señal de corriente a señal neumática modelo E69F convierte una señal de miliamperios dc a una señal de salida proporcional neumática.

Este convertidor es usado debido a que el actuador es neumático cuya señal recibida del controlador debe ser de 3 a 15 psi.



Fig 95 .Conversor I/P modelo E69 foxboro.

5.1.5 Actuador Neumático

El actuador neumático recibe la señal del conversor y a través del posicionador sintoniza la entrada de la señal física al proceso. La señal de control varía de 3 a 15 psi.



Fig 96. Válvula de control con posicionador neumático.

5.1.6 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Es el dispositivo que servirá de interacción con las máquinas. Un HMI es un panel de control que está diseñado, para otorgar un fácil acceso a los parámetros de control y monitoreo, integra funciones lógicas y tendencias para la sintonización de lazos de control o toma de decisiones. El HMI que aplicaremos será el Proface de marca japonesa, cuya funciones de plc integrada sumada a la alta calidad de imagen lo convierte en una buena opción de manejo.

La interfaz creada tiene como finalidad dar un acceso de fácil entendimiento al operador para que su navegación sea lo más didáctica posible



Fig 97.Interfaz hombre máquina.

5.2 Software del sistema remoto GP-PROEX

El Software GP-Pro EX es el software de desarrollo de los entornos gráficos para el HMI, posee herramientas de visualización para tener una vista integrada de control e información del proceso. Posee propiedades de diagnóstico y capacidad de simulación integrada. El software tiene la capacidad de poder comunicarse con los controladores más usados del mercado gracias a su actualización de firmware y paquete de datos.

Características Principales

- Capacidad de simulación de programas ladder o scripts.
- Capacidad de transferencias de archivos mediante doble puerto USB.
- Facilidad para la programación de recetas.
- Facilidad en la programación de alarmas y cuadro de históricos.
- Comunicación con protocolos universales, ya que soporta Ethernet, Modbus, Profibus.
- Visualización de históricos.

- Fácil edición de pantallas de programación y lógica.
- Gran cantidad de herramientas graficas 2D, 3D que facilitan el diseño de pantallas gráficas.
- Gran funcionalidad de programación con otros equipos como variadores y controladores de las marcas más conocidas del mercado.
- Operación de visualización mediante la interfaz GP-Viewer.

5.2.1 HISTORIADOR

Histórico Gráfico de tendencia - Visualización de datos en un gráfico fácil de ver, se muestra el cambio en los datos recogidos a través del tiempo en una forma fácil de entender con un gráfico. En el gráfico se puede remontar de nuevo a ver los datos del pasado. Características del historiador

- Información histórica y de tiempo real accesible para la organización entera.
- Disponible para colocar datos en Excel y Word.

5.3 Configuración del sistema de control remoto

Los pasos seguidos para configurar el sistema de control remoto son:

5.3.1 Crear un nuevo proyecto en GP-Pro EX

1. Ingresar a Inicio, buscar el icono de Proface GP-Pro Ex



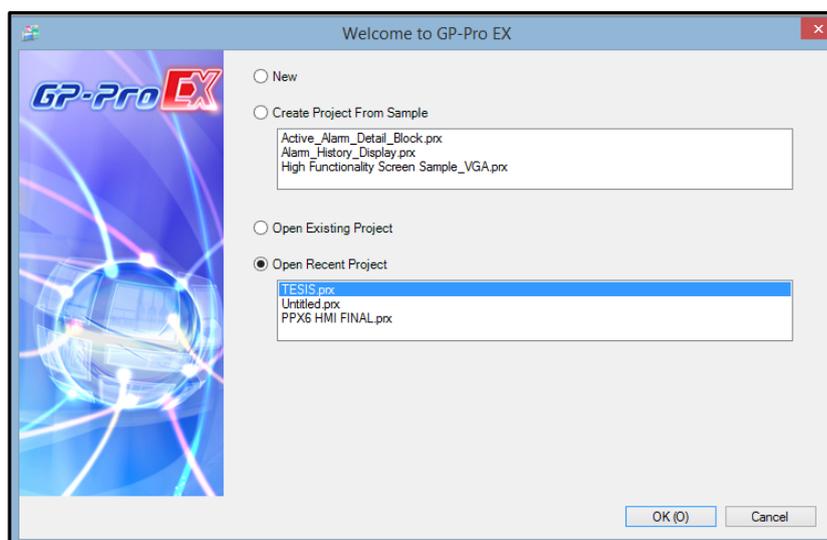


Fig 98.Generar un nuevo proyecto.

2. Escogemos el modelo de pantalla , el controlador y la comunicación entre el HMI y el PLC , en este caso seleccionamos el controlador micrologix 1400 de la familia Allen bradley bajo la comunicación modbus TCP/IP , cuyo puerto de enlace será 192.168.10.10

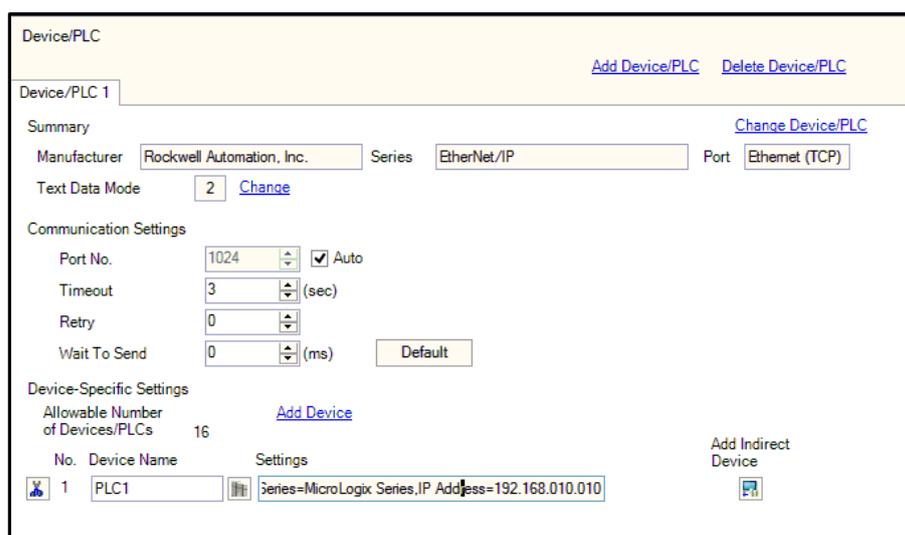


Fig 99.Opción para tener un proyecto con HMI

5.3.2 Generación de pantallas y tags de variables

En la barra de herramientas de acciones en la opción base screen, creamos las diferentes pantallas de bienvenida, pantalla principal del sistema de vapor y condensado, pantallas de tendencias, ventana de lazos de control de presión de grupos y diferenciales de grupos, ventana de configuración de lazos PID. En cada ventana existen variables de control y otras que son de monitoreo, todas deben ser direccionadas bajo tags internos del HMI o tags que pueden ser leídos o escritos del plc. La vinculación de objetos diseñados en el hmi pueden ser enlazados a variables pertenecientes al controlador o variables internas del hmi los cuales pueden formar parte de la lógica ladder que el hmi posee.

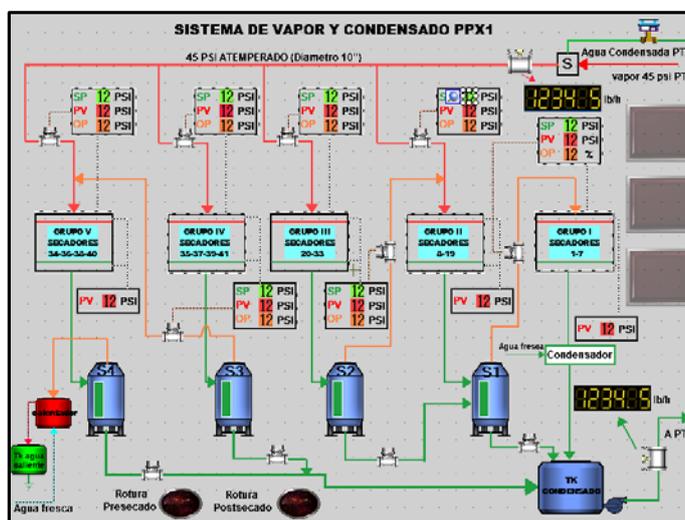


Fig100. Ventana principal de operación

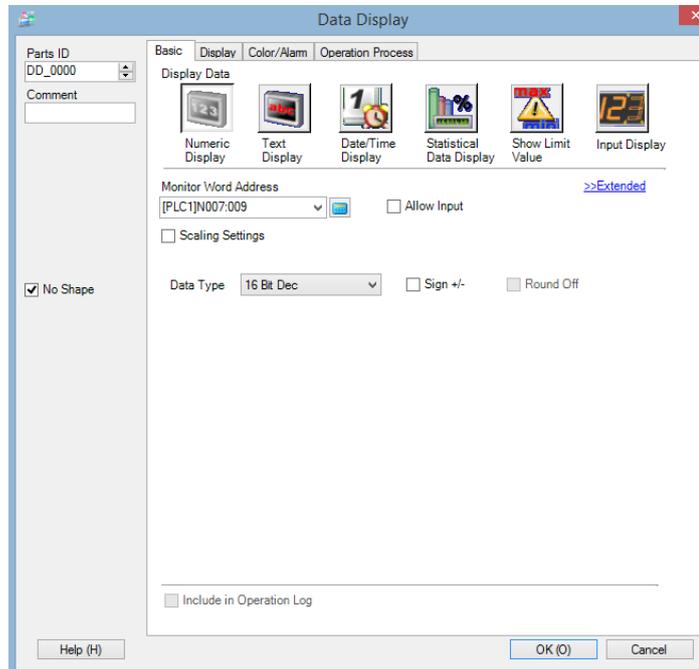


Fig 101. Direccionamiento de tags

5.3.3 Creación de la interfaz grafica

Creado las pantallas que se mostraran en el HMI y vincularlas entre ellas para una fácil manipulación del operador.

Para realizar los gráficos en el HMI en la barra superior se encuentra el icono 'symbol factory' en donde se dispone de una serie de equipos.

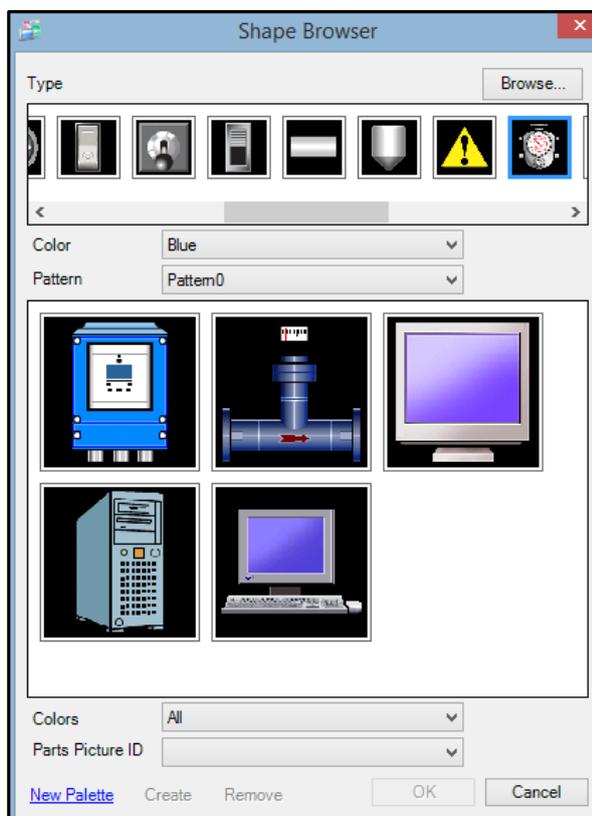


Fig 102. Librería de símbolos de fábrica.

Creamos una pantalla de bienvenida con un botón de vínculo a la primera pantalla.



Fig 103. Pantalla de bienvenida Papelera Nacional.SA

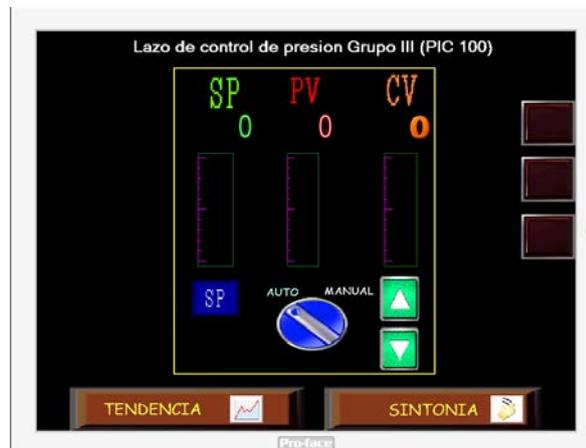


Fig 104. Pantalla de lazos de control

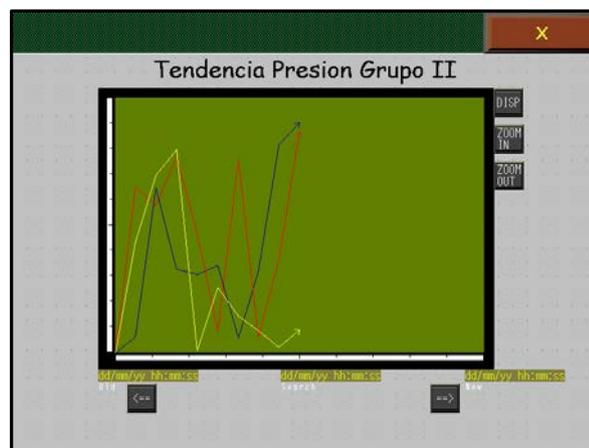


Fig 105. Pantalla de tendencias

5.3.4 Programación del controlador

En el ladder de programación del RSlogix 500, realizaremos la secuencia de la lógica PI de los lazos del control del sistema, asignando los tags para su futura manipulación en el sistema HMI. Estos tags serán los mismos que serán ingresados en las variables del

HMI .Debido a la amplitud de la programación se decidió adjuntarlo en el CD para su evaluación.

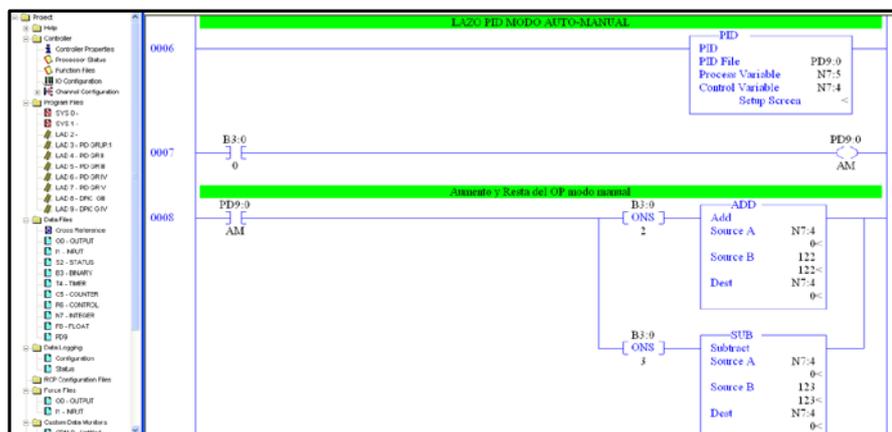


Fig 106. Programación de los lazos PID del sistema de vapor y condensado

CAPITULO VI

RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO PPX-1

Para poder saber el rendimiento del sistema es necesario compararlo con índices internacionales dados por Tappi.

6.1 Cálculo de la cantidad de MMBtu/ton de papel según Tappi.

La norma Tappi en su artículo TIP 0404-33 indica que una máquina eficiente en su secado debe tener un promedio de 1,2 a 1,4 Kg de vapor/ Kg de agua evaporada. Para un mejor entendimiento procederemos a convertir a unidades de MMBtu/ton de papel producida.

Rango Tappi

<u>Kg de vapor/Kg de agua evaporada</u>	<u>(lbm/h de vapor) / (lbm/h de agua evaporada)</u>
1.2	1.2
1.4	1.4

Tabla 4. Índices de eficiencia Tappi para la zona seca

Sea la producción:

	<u>Tn/día</u>	<u>lbm/h</u>
PRODUCCION	78.48	6540
Pasta seca		6082.2

La empresa Johnson en su hoja de especificación 103-E , establece porcentajes de humedades en cada zona de la máquina de papel de acuerdo al papel a producir.

Para papeles Liner y Corrugado.

Humedad de Entrada a la zona de secado: 60%.

Humedad de entrada en la zona de la Sizepress :4%.

Humedad de salida en la zona de la Sizepress: 35%.

Humedad de salida en el cuarto grupo: 7% Liner , 8 % Corrugado.

Por tanto de acuerdo a la producción diaria y los % de humedades por zonas, hallamos la cantidad de agua removida por evaporación y la cantidad de pasta seca.

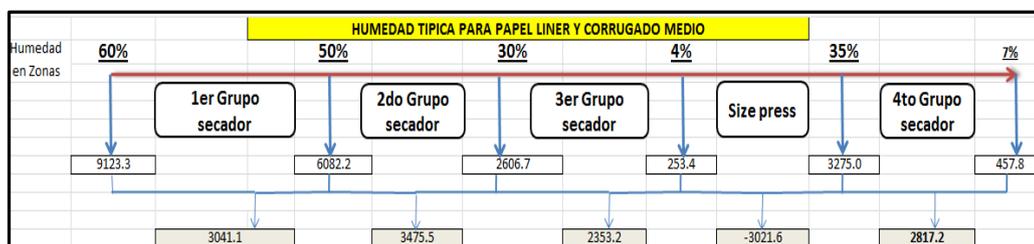


Fig 107. Humedad Típica y agua removida en la zona seca PPX1

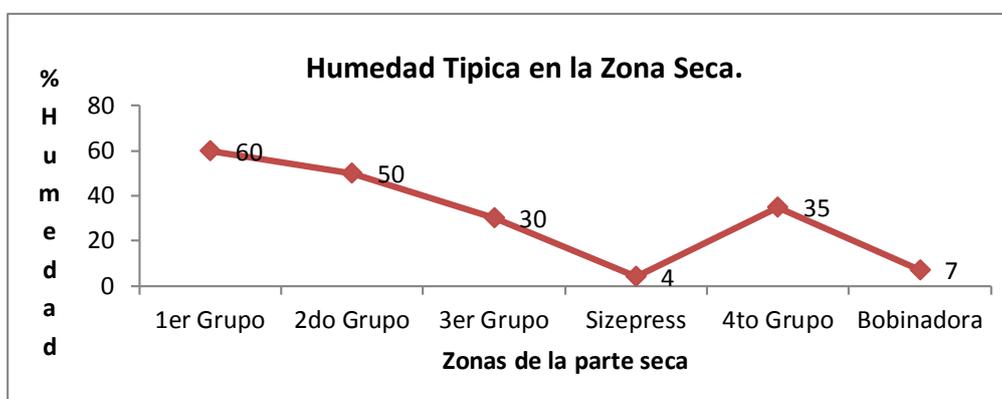


Fig 108. Tendencia de humedad en una máquina papelera Cartón Liner.

Cantidad de agua evaporada: 11687.1 lbm/h

De acuerdo a los índices dados por Tappi encontramos la cantidad de vapor consumida.

	1.2	1.4	Unidades
Cantidad de vapor	336588.6462	392686.754	lbm/dia

Tabla 5. Flujo de vapor consumido de acuerdo a índices internacionales.

Realizamos la conversión a MMBtu/ton de papel.

	1.2	1.4
Totalizador de vapor	336588.6462	392686.754
Entrada de vapor en MMBtu	396.5451817	462.636045
Totalizador de condensado	336588.6462	392686.754
Salida de condensado en MMBtu	54.56438543	63.6584497
Total de MMBtu consumido en la máquina	341.9807963	398.977596
MMBtu/ton PAPEL	4.36	5.08

Tabla 6. Índice internacional MMBtu/ton de papel según Tappi.

El cual determina como un índice Internacional de **5 MMBtu/ton** de papel.

6.2 Performance de la máquina de papel

Después de los trabajos realizados se crearon reportes para indicar la performance de nuestro sistema implementado.

Los indicadores fueron extraídos del medidor tipo placa orificio con compensación de temperatura y presión por ser un flujo compresible para vapor en la entrada principal de la batería de secadores, para el condensado se usó la misma técnica de medida por placa orificio.

	DIAS / FEBRERO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Consumo vapor Proyectado (MBTU/TON)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Consumo vapor por tonelada papel en Rebobinadora (MBTU/TON)	6,77	6,68	6,63	7,74	7,20	7,03	7,23	6,99	14,10	0,00	6,30	6,64	6,63
Consumo vapor por tonelada papel en Bobinadora (MBTU/TON)	6,37	9,13	9,29	7,29	7,20	6,87	7,10	6,66	13,88	0,00	6,24	6,58	6,46

Fig 110. Evolución del consumo de vapor.

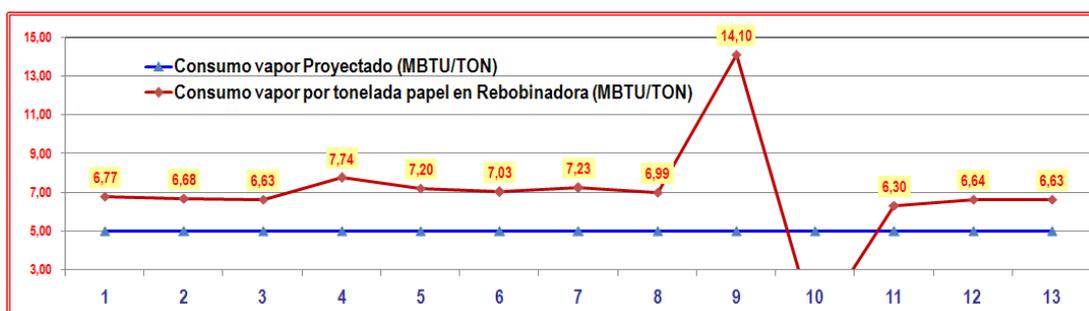


Fig 111. Evolución gráfica del índice MMBtu/ton en la rebobinadora.

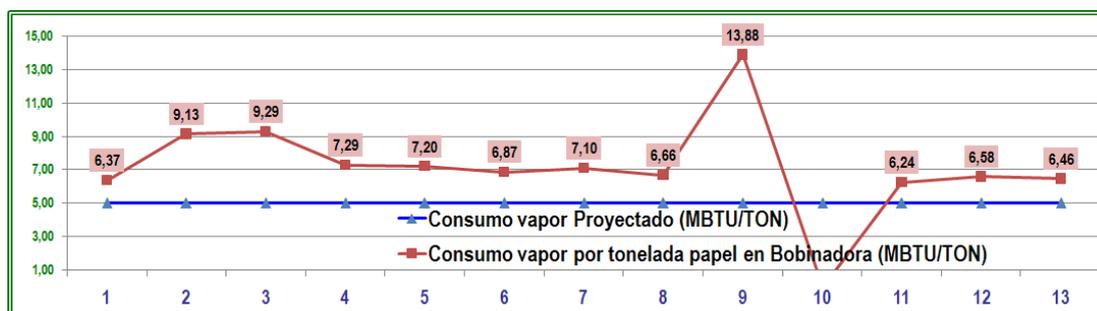


Fig 112. Evolución gráfica del índice MMBtu/ton en la bobinadora.

CONCLUSIONES

1. El sistema de control por presión diferencial aprovecha la energía del revaporizado para reducir el consumo de vapor vivo de 30000 lb/h a 21000 lb/h.
2. La importancia de automatizar el sistema Chorro/Tela permite la buena formación del papel, reducción de energía, elimina tiempos perdidos por cambio de gramaje y permite mantener la consistencia de la pasta en el headbox permitiendo que no haya fluctuaciones en el consumo de vapor.
3. El diseño del sistema de drenaje de agua en la máquina papelera tiene como objetivo generar actividad en la pasta y reducir el porcentaje de humedad a la batería de secadores.
4. Por experiencia es más rentable realizar mejoras sobre el sistema de drenaje de la mesa plana, mejorando la actividad, mejorando el sistema de prensado, utilizando cajas de vapor, pues una reducción de 1% de humedad en la zona húmeda equivale como 3% de reducción en el flujo de vapor.
5. La importancia de contar con un sistema HMI permite la mejor operación del sistema.
6. Los datos recogidos en planta nos permite conocer que aún hay muchas cosas por mejorar para acercarnos a índices internacionales, prueba de ello está en la implementación de la segunda etapa del proyecto que tiene como objetivo principal insuflar aire caliente a la batería de secado cuya reducción por

orientación del especialista se encuentra entre un 4 a 6 % sobre el consumo actual.

7. Es de suma importancia respetar la curva de humedad del papel semejante a una campana de gauss con el fin de controlar el flujo de entrada de vapor vivo al sistema.
8. Es importante respetar los % de humedad asignadas por el cliente .Para el papel liner está sobre el 7% y el corrugado esta por los 8%, producir un papel con menor % humedad permitiría que consumamos más cantidad de vapor.
9. Es importante mantener en buen estado el sistema de trampas de vapor, pues un mal funcionamiento de ellas originaria golpes de ariete en la redes de vapor y reduciría el coeficiente de transferencia de calor entre el secador y el papel.

APENDICE

Programación del controlador 762-Sistema Chorro Tela

MENU	MENU	SET	SET	PASSCODE
READ	SET	OPTUNE	SECURE	
	SECURE ALLTUNE	SECURE CONFIG	CONFIG STRATEGY	STRATEGY ONE FUNC
CONFIG	FUNC 1	PI,PID	DISPLAY	TOP LINE
FUNC1	PI,PID	DISPLAY	TOP LINE	VARIABLE
	VARIABLE	TYPE	LINEAR	ENG UNTS
	TYPE	LINEAR	ENG UNTS	_TEL
	LINEAR	URV	LINEAR	LRV
	URV	300	LRV	= 0,0
	VARIABLE	SOURCE	DISPLAY	MEAS,SP
	SOURCE	D	MEAS,SP	TYPE
	TYPE	LINEAR	ENG UNTS	LINEAR
	LINEAR	ENG UNTS	_CHO	URV
	URV	LINEAR	LRV	DISPLAY
	300	LRV	=0.0	OUTBAR
	OUTBAR	SOURCE	DISPLAY	RATIO

SOURCE	C1 OUT	RATIO	ENG UNTS
ENG UNTS	RATIO	URV	RATIO
=_PCT	URV	=100.0	LRV
LRV	DISPLAY	ALARMS	MEAS
=0.0	ALARMS	MEAS ALM	NO
ALARMS	OUT ALM	DISPLAY	PH DISP
OUT ALARMS	NO	PH DISP	OFF
PI,PID	SET PT	TYPE	R/L
SET PT	TYPE	R/L	RL LOGIC
RL	LOCTR	RL LOGIC	SWITCH
LOCTR	NONE	SWITCH	NONE
RLLOGIC	STARTUP	R/L	INBIAS
STARTUP	L	INBIAS	=0..0
R/L	SOURCE	SET PT	MEASTRR
SOURCE	CALC1	MEASTRK	OFF
SEP PT	FORMAT	PI,PID	MEAS
FORMAT	LINEAR	MEAS	FORMAT
FORMAT	MEAS	SOURCE	PI,PID
LINEAR	SOURCE	A	A/AM
A/M	STARTUP	A/M	FLUNK
STARTUP	M	FLUNK	M
A/M	SWITCH	PI,PID	NONLIN
SWITCH	NONE	NONLIN	NO
PI,PID	ACTION	PI,PID	OUTPUT
ACTION	INC/DEC	OUTPUT	FORMAT

	FORMAT	OUTPUT	MODIFIER	OUTPUT
	LINEAR	MODIFIER	NO	OUTTRK
	OUT TRK	SWITCH	OUTTRK	SOURCE
	SWITCH	OFF	SOURCE	IN2
	OUTPUT	EXTLIM	HIGH	SWITCH
	EXTLIM	HIGH	SWITCH	OFF
	HIGH	SOURCE	EXTLIM	LOW
	SOURCE	IN2	LOW	SWITCH
	SWITCH	LOW	SOURCE	OUTPUT
	OFF	SOURCE	IN2	STARTUP
	STARTUP	PI,PID	BATCH	PI,PID
	LAST VAL	BATCH	OFF	INT FBK
	INT FBK			
	C1 OUT			
CONFIG	CALC	CALC1	CALC	CALC2
CAL	CALC1	<C*G>+Y	CALC2	D- -H
	CALC	CALC3	CALC	DYNC
	CALC3	A	DYNC	OFF
	CALC	CHAR1	POINTS	CHAR1
	CHAR1	POINTS	=2	X1
	X1	CHAR1	Y1	CHAR1
	=0.0	Y1	=0.0	X2
	X2	CHAR1	Y2	CALC
	=100.0	Y2	=100.0	CHAR2

	CHAR2	POINTS	CHAR2	X1
	POINTS	=2	X1	=0.0
	CHAR2	Y1	CHAR2	X2
	Y1	=0.0	X2	=100.0
	CHAR2	Y2		
	Y2	=100.0		
CONFIG	TOTAL 1			
TOTAL 1	NO			
CONFIG	TOTAL 2			
TOTAL 2	NO			
CONFIG	OUTPUTS	SPLT RNG	OUTPUTS	ROUT 1
OUTPUTS	SPLT RNG	NO	ROUT1	REVERSE
	REVERSE	OUTPUTS	ROUT2	REVERSE
	NO	ROUT2	REVERSE	NO
	ROUT2	SOURCE	OUTPUTS	CO1
	SOURCE	CALC1	CO1	GATE 0
	OUTPUTS	CO 2	CONFIG	W/P
	CO 2	NONE	W/P	OFF
CONFIG	INPUTS	A	OUTBIAS	A
INPUTS	A	OUTBIAS	=0.0	GAIN
	GAIN	A	INBIAS	A

=1.00	INBIAS	=0.0	FORMAT
FORMAT	A	FILTER	INPUTS
SQ ROOT	FILTER	=0.0	B
B	OUTBIAS	B	GAIN
OUTBIAS	=0.0	GAIN	=1.000
B	INBIAS	B	FORMAT
INBIAS	=0.0	FORMAT	LINEAR
B	FILTER	INPUTS	C
FILTER	=0.0		C
OUTBIAS			
OUTBIAS	B	GAIN	C
=0.0	GAIN	=1.00	INBIAS
INBIAS	C	FORMAT	C
=0.0	FORMAT	LINEAR	FILTER
FILTER	INPUTS	D	OUTBIAS
=0.0	D	OUTBIAS	=0.0
D	GAIN	D	INBIAS
GAIN	=1.00	INBIAS	=0.0
D	FORMAT	D	FILTER
FORMAT	LINEAR	FILTER	=0.1
INPUTS	FREQ I/P	INPUTS	E
FREQ I/P	FREQ	E	OUTBIAS
OUTBIAS	E	GAIN	E
=0.0	GAIN	=1.00	INBIAS
INBIAS	E	FORMAT	E
=0.0	FORMAT	LINEAR	FILTER

	FILTER	INPUTS	F	OUTBIAS
	=0.0	F	OUTBIAS	=0.0
	F	GAIN	F	INBIAS
	GAIN	=1.00	INBIAS	=0.0
	F	FORMAT	F	FILTER
	FORMAT	LINEAR	FILTER	=0.0
CONFIG	ALARMS	ALARM1	TYPE	ALARM 1
ALARMS	ALARM1	TYPE	LO/LO	ACTION
	ACTION	ALARM1	FORM	ALARM 1
	PERMISIVE	FORM	ABS	ATTACH
	ATTACH	ALARMS	ALARM2	TYPE
	CIMEAS	ALARM2	TYPE	OFF
	ALARM2	ACTION	ALARM2	FORM
	ACTION	NON LAT	FORM	ABS
	ALARM2	ACTION	ALARM2	FORM
	ATTACH	NONE	ALARM3	TYPE
	TYPE	ALARM3	ACTION	ALARM3
	OFF	ACTION	NON LAT	FORM
	FORM	ALARM3	ATTACH	ALARMS 4
	ABS	ATTACH	NONE	ALARM 4
	ALARM 4	TYPE	ALARM 4	ACTION
	TYPE	OFF	ACTION	NON LAT
	FORM	ALARM 4	ATTACH	ALARMS
	ABS	ATTACH	NONE	EXT ACK

EXT ACK

NONE

CONFIG	FUNCT	100000	INPUTS	TAB.INP	100000
	MIN EL	4	MAX EL	20	MIN UP
	-10	MAX UP	10	ALARM	TAB.AL1
	0	REMOTE	ADR.REN	1	ECH.REN
	65535	UTIL.			

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Montes Lara, C. (2003). *Industria de la pulpa y el papel*. Madrid, España: [s.n].
- [2] Corporación Escher Wyss. (1982). *Manual Técnico de la fábrica de papel Paramonga*. Alemania: Voith.
- [3] Kenneth, C. (2006). *Optimización del uso del vapor en la sección de secado*. Chile: Kadant Johnson.
- [4] Kadant México. (2009). *Diseño de sistemas de drenaje*. , México: [s.n].
- [5] *International Mechanical Pulping Conference*. (1983). *Toward a unified theory of refining*. EEUU: Pearson.