



**REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE EL REEMPLAZO DE
BLOWER (AIR KNIFE) POR CUCHILLAS DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL
SECADO DE MALLAS EN LA INDUSTRIA PAPELERA.**

**LUIS FERNANDO OLARTE MONTOYA
CARLOS ANDRÉS ACOSTA MEJÍA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
ITAGÜÍ
2017**

*“El verdadero
Progreso es el que pone
La tecnología al alcance de todos”
Henry Ford.*

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un esfuerzo colectivo de quienes tomaron parte en esta investigación ya sea de forma investigativa o colaborativa en un campo relativamente nuevo en el área de la ingeniería, específicamente en la industria del papel. Por eso de parte del equipo agradecemos tanto al asesor como a los profesores quienes en su incansable labor proporcionan las herramientas para construir el autoconocimiento y el interés por innovar en los proyectos laborales y en la vida misma.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	4
RELACIÓN DE TABLAS.....	6
RELACIÓN DE FIGURAS.....	7
1 PROBLEMA	8
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	8
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2 JUSTIFICACIÓN.....	11
3 OBJETIVOS	13
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OJETIVOS ESPECIFICOS	13
3.3 ALCANCES DE LA INVESTIGACION	13
4 EL MARCO TEÓRICO	14
4.1 DEFINICIONES.....	14
4.1.1 ENERGÍA	14
4.1.2 CONSUMO ENERGÉTICO	14
4.1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	14
4.2 ANTECEDENTES	14
4.2.1 APORTES DE LA TECNOLOGÍA BASADA EN EL USO DE AIRE COMPRIMIDO PARA MEJORAR PROCESOS INDUSTRIALES.....	15
4.2.2 USO INTELIGENTE DEL AIRE COMPRIMIDO.....	17
4.2.3 APORTES DE LA INDUSTRIA A LA FABRICACIÓN DE BANDAS TRANSPORTADORAS.....	18
4.2.4 MÉTODOS DE LIMPIEZA CON AGUA.....	19
4.2.3 EVOLUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO	20
4.3 MARCO LEGAL	21
4.4 MARCO REFERENCIAL.....	21
4.4.1 ALISTAMIENTO DE LAS MALLAS O PREPARACIÓN DE VESTIDURAS.....	21
4.4.2 RECOMENDACIONES COMUNES	22
4.4.3 CONTAMINACIÓN INTERNA	23
4.4.4 DUCHAS TIPO ABANICO INTERNOS.....	24
4.4.5 DUCHA DE INUNDACIÓN.....	25

4.4.6	CONTAMINACIÓN EXTERNA.....	27
4.4.7	DUCHAS DE ALTA PRESIÓN	27
4.4.8	DUCHAS INTERNAS DE ALTA PRESIÓN TIPO AGUJA.....	30
4.4.9	CAJAS DE SUCCIÓN	32
4.4.10	DUCHAS COMBINADAS AGUA/AIRE.....	32
4.4.11	DUCHAS CON ALTÍSIMAS PRESIONES.....	33
4.4.12	DUCHAS ADICIONALES	33
4.4.13	OSCILADORES PARA DUCHAS.....	33
5	DISEÑO METODOLOGICO.....	35
5.1	TIPO DE ESTUDIO.....	35
5.2	POBLACIÓN.....	35
5.3	LA MUESTRA.....	35
5.4	HALLAZGOS	35
5.4.1	AJUSTE DE LA DUCHA DE AIRE SEGÚN ENSAYOS REALIZADOS	35
5.4.2	COSTO APROXIMADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DUCHAS DE AIRE COMPRIMIDO....	38
5.4.3	RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	38
5.4.4	SOLUCIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	39
6	CONCLUSIONES	42
7	RECOMENDACIONES	43
8	REFERENCIAS.....	44
9	ANEXOS	46

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre la cantidad de sólidos y los diámetros de las boquillas	23
Tabla 2. Factor de velocidad vs volumen mínimo de agua	26
Tabla 3. Ajuste o recomendaciones encontradas para la implementación de la ducha a presión.....	37
Tabla 4. Cuadro Comparativo del Consumo Energético de los dos Sistemas	38
Tabla 5. Comparativo de la Funcionalidad entre los dos Sistemas.....	40

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Planta de producción de papel (Colpapel 2016)	8
Figura 2. Blower multietapas para la aplicación de Air Knife.....	10
Figura 3. Ducha de aire a presión o súper Air Knife	11
Figura 4. Direccionamiento del aire a través de la cuchilla.....	11
Figura 5. Dirección del flujo de aire en la ducha	17
Figura 6.Diferentes Topologías de mallas	22
Figura 7. Boquilla nueva o en buen estado vs boquilla con contaminación en aguas.....	23
Figura 8. Abanicos internos	24
Figura 9. Ducha de Inundación	25
Figura 10. Configuración en abanico	26
Figura 11. Duchas de alta presión	28
Figura 12. Caja de vacío	28
Figura 13. Angulo del Chorro.....	29
Figura 14. Duchas tipo aguja	31
Figura 15. Efectividad de la ducha vs distancia de la tela. Las colisiones de partículas como gotas de agua que golpean la tela aparentemente juegan un papel importante en la limpieza.....	31
Figura 16. Caja de vacío	32
Figura 17. Mecanismo de un Oscilador Mecánico	34
Figura 18.Termografía del punto de aplicación del Air Knife.....	36
Figura 19. Imagen soporte desplazable.....	36

1 PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La gran mayoría de máquinas para la elaboración de papel con tecnología UCTAD, con secado a través de aire caliente, también llamados molinos, constan de varias etapas básicas para la realización del papel como lo son: formación, sus diferentes secciones de secado y el reel donde se hace el enrollado final. (Ver Figura 1) Como elemento principal, este estudio se enfocará en una de sus etapas de secado conocida como la sección de transferencia o para entenderlo mejor, en la sección de secado justo antes de pasar la hoja al TAD, la cual de ahora en adelante para efectos de facilidad se llamará **malla 3**, La zona anterior a **malla 3** será llamada **malla2** y finalmente la zona del TAD será nombrada como **malla 4**.

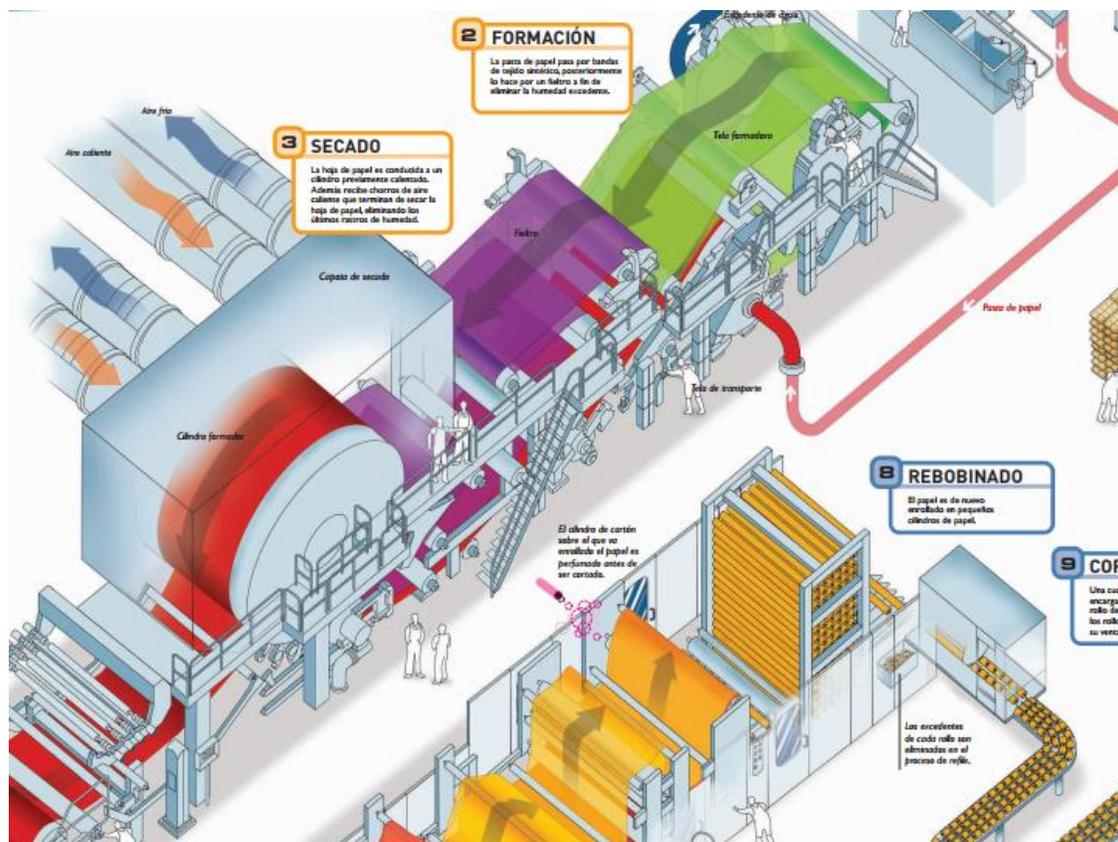


Figura 1. Planta de producción de papel (Colpapel 2016)

Para que el secado de la hoja de papel pueda ser eficiente, la malla 3 juega un papel muy importante, y para que la hoja pueda transferirse de la malla 2 hacia malla 3, debe realizarse una buena preparación de la malla, utilizando un método de limpieza de la malla y posterior a esto debe existir un método de secado para que la hoja encuentre unas buenas condiciones y pueda adherirse fácilmente.

En la actualidad la mayoría de las maquinas UCTAD, tienen un equipo con el cual se hace la función de secado de la malla 3, llamado AIR KNIFE, este equipo es un blower de múltiples etapas que logra aportar cantidades importantes de flujo de aire que pasa a través de la malla logrando el secado, adicionalmente cuenta con una caja de vacío en la parte inferior o en frente para ayudar a retirar el agua. Estos equipos debido a su gran tamaño consumen grandes cantidades de energía eléctrica. Es por esto que se estudiaran las consideraciones más importantes a la hora de migrar esta tecnología a cuchillos o duchas de aire comprimido, donde se obtendrán ahorros muy importantes en consumo de energía eléctrica, además de los costos de mantenimiento asociado, de instalación y de reducción de la huella de carbono que cobra tanta importancia en cualquier proyecto que se quiera implementar en la actualidad, y que incluso ya es causa de viabilidad para un proyecto.

Para explicar de manera práctica el cambio de esta tecnología se hará la presentación de un proyecto realizado en una de las plantas de producción de papel en Colombia en el año de 2017, donde se hizo el reemplazo del air Knife por duchas de aire a presión¹.

La máquina de papel sobre la que haremos mención, fue construida con un ancho de hoja de 2,70m; en la parte de secado, correspondiente a la aplicación de Air knife, venía trabajando con un blower con una potencia de 400KW, que fue instalado al inicio del proyecto, desde hace 9 años. (Ver Figura 2)

¹ Debido a la naturaleza de esta información y la importancia del secreto industrial, no es posible listar o enumerar las compañías que han realizado este cambio. Solo puede establecerse que se trata de compañías ligadas al sector papelerero.



Figura 2. Blower multietapas para la aplicación de Air Knife

Dicho equipo fue diseñado para máquinas de hasta 5,4 metros de ancho, por lo que el equipo hoy está desperdiciando gran parte de su capacidad, esto hace que sea para el proceso un equipo energéticamente ineficiente y no es posible modular el funcionamiento con un variador de velocidad ya que debido a sus características constructivas siempre debe funcionar al total de la velocidad de diseño para no chocar los discos internos de cada una de sus etapas y se debe liberar flujo mediante compuertas o dampers a la atmosfera; adicionalmente a esto se suma el hecho de que es un equipo crítico, que puede parar todo el proceso productivo y que por su gran costo no se cuenta con un reemplazo disponible en planta; esto hace que el mantenimiento tenga que ser muy riguroso además de costoso.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El uso eficiente de la energía es una de las condiciones a la que toda industria debe apuntar; en este caso la industria dedicada a la elaboración del papel, y la reducción de costos operativos es un factor de crecimiento en la industria. Para la fabricación de papel actualmente existen varias herramientas que permiten realizar el secado de mallas, el inconveniente de estos métodos es que su implementación va en detrimento del consumo energético debido a que las tecnologías que se importan tienen medidas y dimensiones estandarizadas, por lo tanto, se hace necesario entonces preguntar:

¿Cuál sería la forma más eficaz de obtener el mejor aprovechamiento del uso de la energía en el método de secado de las mallas transportadoras que actualmente se está implementando en la industria papelera?

2 JUSTIFICACIÓN

Con la implementación de las cuchillas de aire comprimido, para que funcionen como air Knife (Ver Figura 3), se aprovechará el total de la energía utilizada para el proceso de secado en la transferencia del papel, es decir se contará con un diseño que al ser dimensionado para dicha aplicación estaría siendo utilizado en un 100% y que gracias a su modularidad tendrá la posibilidad de instalar otros adyacentes en caso de que un incremento en la producción así lo requiera.



Figura 3. Ducha de aire a presión o súper Air Knife

La propuesta entonces que se hace es cambiar el AIR KNIFE por otro tipo de tecnología más eficiente y dimensionada para dicha aplicación, Ducha o Cuchilla de aire a Presión, esta es una tecnología que aprovecha la velocidad del aire consumido para funcionar como Venturi y aprovechar también el aire de la atmosfera para hacerlo parte del proceso de limpieza. (Ver Figura 4).

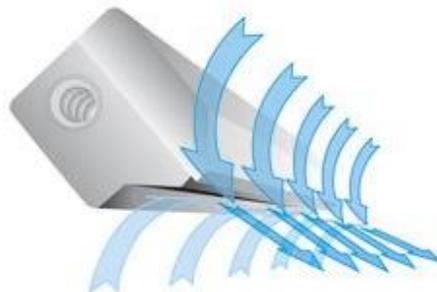


Figura 4. Direccionamiento del aire a través de la cuchilla.²

² Nótese cómo el diseño de la cuchilla garantiza que el flujo de aire de salida en su sección longitudinal se asemeja a una lámina, por tanto, se considera flujo laminar.

Para su implementación ha sido necesario adquirir adicionalmente un compresor de 75 KW, que sería la capacidad de flujo requerida para el funcionamiento de la ducha. Esto significa que se estaría ahorrando en solamente energía eléctrica 325 KW; también se estaría frente a un equipo que su mantenimiento es muy bajo comparado con el actual; otro beneficio que se tendría es que se cuenta con otros compresores en planta de mayor capacidad que pueden servir de respaldo en caso de una falla, sin necesidad de tener un equipo de reemplazo adicional.

El tiempo estimado para la realización de esta implementación es 10 meses, contados a partir de la aceptación del proyecto y liberación del presupuesto.

A continuación, se presentan algunas consideraciones que soportan la necesidad del proyecto:

- ✓ En la actualidad el costo de la energía eléctrica para la planta está en 290 pesos por Kilovatio Hora consumido (\$290/KWH)
- ✓ La máquina de papel funciona 24 horas al día, 25 días al mes durante los doce meses del año.
- ✓ El consumo energético instantáneo del AIR KNIFE es 400KW
- ✓ El consumo instantáneo del compresor es 75KW
- ✓ Los kilovatios ahorrados serian 325KW
- ✓ El Costo del mantenimiento anual para el AIR KNIFE, es de \$8´400.000.
- ✓ El costo de mantenimiento de la cuchilla es mínimo, sin embargo, la fuente de alimentación de este es el compresor que requiere cuidados especiales al igual que el Air Knife, y estos equivalentes a \$ 4´300.000 anuales.

Hay que tener en cuenta que, al tener costos de operación más bajos, se tendrán mejores rendimientos, se puede sostener precios en un periodo más amplio o incluso bajarlos según sea la estrategia de la compañía.

3 OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Reducir el consumo energético en las maquinas papeleras mediante el reemplazo del Air Knife por una ducha de aire a presión de última tecnología y energéticamente más eficiente.

3.2 OJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el beneficio de cambiar el Air Knife por nueva tecnología de duchas de aire a presión.
- Establecer las necesidades de adecuación de la infraestructura actual para la implementación de las duchas de aire.
- Comparar el funcionamiento de las duchas de aire a presión frente al modelo existente de Air Knife, estableciendo comparativas entre ellos.

3.3 ALCANCES DE LA INVESTIGACION

El estudio y presentación de esta tecnología, incluye una serie de investigaciones realizadas por diferentes empresas del sector paplero, en especial fabricantes de mallas. Ellos han logrado identificar buenas prácticas que han sido de gran valor en el sector real, y que al haber sido corroboradas a través de sus clientes, se puede inferir que el grado de éxito al tenerlas en cuenta en una implementación, puede ser mayor.

También se presentarán los datos recogidos de una implementación realizada en una empresa papelera, donde se incursionó con esta tecnología, con datos del antes y después, mostrando cuales son las ventajas desde al punto de financiero e impacto ambiental. Además de presentar algunas conclusiones de la implementación fruto del ensayo y error por ser un desarrollo nuevo que en ocasiones los resultados parecieran ir en contra de la teoría.

Se expondrá un conjunto de buenas prácticas sobre alistamiento de las vestiduras o mallas con todos sus tipos y métodos de limpieza, pues son necesarios para que la implementación de las duchas de aire comprimido pueda ser exitosa.

4 EL MARCO TEÓRICO

4.1 DEFINICIONES

4.1.1 ENERGÍA

Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc. Para el estudio en particular se hará referencia a la electricidad por ser la fuente de energía que se tiene en la planta, para transformar en movimiento; suministrada a través de las redes de distribución de las Empresas Públicas de Medellín, cuya unidad de medida es el vatio hora multiplicada por mil (KWH).

4.1.2 CONSUMO ENERGÉTICO

Gasto total de energía en un proceso determinado, cuando se hace referencia a algún tipo de consumo energético, se hace alusión al gasto de energía eléctrica para transformarla principalmente en movimiento del elemento o en equipo en mención, cuyas unidades serán las mismas KWH.

4.1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. A través de la eficiencia energética, se busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables.³

4.2 ANTECEDENTES

En la actualidad es muy limitado el número de empresas que hayan o estén incursionado en el desarrollo de estas duchas de aire, a tal punto que solo se ha encontrado a Runtech, una empresa Finlandesa que ha desarrollado un tipo de

³ Para un mejor entendimiento el lector se puede remitir a la Ley 1715 de 2014 de la República de Colombia.

cuchilla de fibra de carbono especial para aplicaciones de secado de mallas para la industria del papel, sin embargo no cuenta con un desarrollo propio para el reemplazo de los Air Knife. Es por esto que se ha decidido buscar en el mercado productos similares que permitan hacer las modificaciones necesarias para el desarrollo de dicha aplicación.

Dentro de las pocas soluciones que hay en el mercado, se decide adquirir una cuchilla de la empresa americana EXAIR, que dentro de su portafolio de productos, fabrica cuchillas de aire utilizadas para el secado de piezas en diferentes industrias después de que salen de su proceso de mecanizado o lavado, según sea el producto. Se logra ajustar este tipo de cuchillas al proceso en la máquina de papel, se realizan ensayos para determinar las diferentes configuraciones que se puede tener, pues estas permiten tener muchos puntos o configuraciones posibles por donde moverse gracias a su flexibilidad y modularidad, y se puede buscar una mejor operación de la misma ajustada a al proceso de la máquina de papel.

Los avances y estudios aquí relatados estarán divididos en 3 campos, los cuales son fundamentales para el desarrollo integral del proyecto, las tres áreas a saber son, el uso del aire comprimido, la elaboración de mayas y la elaboración del papel.

4.2.1 APORTES DE LA TECNOLOGÍA BASADA EN EL USO DE AIRE COMPRIMIDO PARA MEJORAR PROCESOS INDUSTRIALES

4.2.1.1 LA NEUMÁTICA

La cual logra resolver grandes problemas de precisión y velocidad de producción; uno de los aportes más importantes de la neumática son los reguladores de caudal, en aplicaciones que requieren limpieza con chorros a presión y necesitan que este sea proporcional a la resistencia del elemento en el que actúan. El aire como elemento primario en los reguladores de caudal, tiene la propiedad física de ser compresible, por lo cual el aumento en la presión es inversamente proporcional al área transversal que atraviesa; la aplicación de mayor uso en la actualidad es el compresor. (Guillen, 1988).

Entre otras aplicaciones al uso de la neumática se encuentran los distribuidores de aire comprimido, los cuales permiten redirigir la circulación del aire en los lugares que se necesita con el fin de realizar limpiezas de componentes mecánicos, por ejemplo. La pieza clave en la generación de aire comprimido, donde está la energía eléctrica como factor de activación, por lo cual los procesos industrializados deben

enfatar el uso eficiente de la energía sin perder las cualidades requeridas del aire comprimido en los campos de aplicación. (Jiménez, 2003).

4.2.1.2 FUNCIONAMIENTO DE LA DUCHA DE AIRE A PRESIÓN (SÚPER AIR KNIFE)

Una aplicación específica y la más cercana al objeto de investigación es la cuchilla de aire presentada por la compañía EXAIR, la cual ofrece una forma más eficiente de limpiar, secar y enfriar piezas, telas o bandas transportadoras, su diseño proporciona un flujo laminar de aire a lo largo de la longitud de la cuchilla, su principio básico de funcionamiento es la neumática. El inconveniente con elementos como este se encuentra en que al ser diseños estandarizados se debe procurar utilizar toda el área de trabajo para evitar pérdidas de energía por fabricación de aire comprimido en lugares no utilizados.

Entre sus aplicaciones está:

- El secado de partes después del lavado.
- La limpieza de bandas transportadoras.
- EL enfriado de partes y componentes de una maquinaria.
- La separación de ambientes.
- La remoción de los desechos en operaciones de transportación.

El aire comprimido fluye a través de una entrada (1) en la cámara del Súper Air Knife. El flujo se dirige a un orificio preciso y ranurado. Cuando el flujo de aire primario sale de la boquilla ranurada fina (2), sigue una superficie plana que dirige el flujo de aire en una línea perfectamente recta. Esto crea una hoja uniforme de aire a través de toda la longitud del Súper Air Knife. La pérdida de velocidad se minimiza y la fuerza se maximiza a medida que el aire ambiente (3) es arrastrado a la corriente de aire primario en una relación de 40: 1. El resultado es una hoja bien definida de flujo de aire laminar con fuerza de golpeo fuerte. Incluso a altas presiones de 80 PSIG (5.5 BAR). El nivel de sonido del Súper Air Knife es sorprendentemente silencioso a 69 dBA para la mayoría de las aplicaciones, Se producen relaciones de amplificación (aire arrastrado al aire comprimido) de 40: 1. El Súper Air Knife está disponible en aluminio, acero inoxidable y PVDF. (Ver Figura 5)

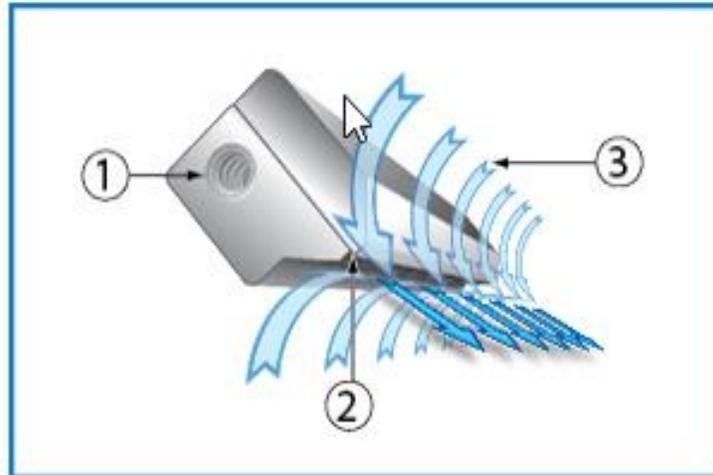


Figura 5. Dirección del flujo de aire en la ducha

4.2.2 USO INTELIGENTE DEL AIRE COMPRIMIDO

Casi todas las instalaciones industriales cuentan con al menos un compresor que es utilizado para cientos de diferentes herramientas, equipos y operaciones. Mientras la mayoría de las aplicaciones para aire comprimido no presentan problemas reales, algunas sí. El uso inapropiado puede traducirse en costos de energía innecesarios, altos niveles de ruido y exposición peligrosa de elementos de almacenamiento a una alta presión.

En cuanto a la Reducción de costos energéticos, La mejor manera de reducir los costos de energía es a través de un mantenimiento correcto y el uso de sistemas ahorradores de aire comprimido, como las fugas en el sistema, los filtros sucios que requieren de un mantenimiento regular. También se pueden realizar ahorros de energía remplazando motores viejos por motores nuevos con mejor eficiencia de energía en el compresor, que se pagan solos en un corto tiempo, El factor más importante que hace que se ahorre aire comprimido es el uso correcto de este. El Súper Air Knife usa solo 1/3 del aire comprimido a comparación de los otros sistemas usados para limpiar, secar y enfriar. (Airtec, 2017).

Entre los usos industriales del aire comprimido, se tiene en la actualidad una patente por parte de General Electric. Hao, Yongjiang, Byrd, Douglas Scott, Zhang, Kippel, Bradly Aaron, la cual consiste en la purga de una caldera con aire comprimido, fue publicada en noviembre del 2015. Para extraer las impurezas de una caldera para que no dañen el mecanismo, se necesita generar vapor y retener esa impurezas, pero este proceso aumenta la presión interna de la caldera, por esto se recurre a eliminar las impurezas con aire comprimido. (Atlanta, 2015).

La industria automotriz también tiene su campo de acción dentro de la aplicación del aire comprimido, afectando positivamente el impacto ambiental, se realizan prototipos de motores que pueden realizar empuje a través de presión y combustión. Uno de los principales detonantes para la investigación de este tipo de tecnologías fue el hecho de observar ciudades insostenibles ambientalmente en la actualidad.

4.2.3 APORTES DE LA INDUSTRIA A LA FABRICACIÓN DE BANDAS TRANSPORTADORAS

En cuanto al estudio de bandas transportadoras, se tienen mallas que permiten drenar el agua, aportando a la reducción del consumo de energía por la utilización métodos de secado convencionales. Existen varios patrones de entramado de la maya, los cuales según la configuración canaliza el agua entre sus aperturas, dando propiedades de secado diferentes. La capacidad para drenar el agua mejora en lugares de vacío, sin embargo se pueden realizar configuraciones para maximizar sus efectos en condiciones ambientales normales.

La calidad en el entramado de la malla puede afectar su ciclo de vida útil, por lo cual se debe buscar siempre maximizar su tiempo operativo reduciendo costos por reemplazos y averías. (Valmet, 2017).

La materia prima principal para la elaboración de papel, es la pulpa obtenida de la madera o de fibras recicladas. Cuando se habla de fibra obtenida directamente de la madera, decimos que es fibra virgen, y su proceso de fabricación está compuesto por una serie de subprocesos donde el refinado y el uso de químicos cumplen un papel muy importante; así también cuando hablamos de fabricación a partir de fibra reciclada, se hace necesario tener otros procesos de limpieza para hacer que este material sea de nuevo apto para su reutilización.

Una vez se pasa a la etapa de Formación, después de pasar de nuevo por otra de refinación, el vacío toma un papel protagónico, ya que es el que permite sacar el agua del papel, y transportarla a otros sitios. En esta etapa se mejora el proceso por pasar de tener más de un 90% de agua hasta alrededor de un 45% donde se hace entrega a la siguiente etapa o zona.

Etapa de Transferencia: en esta etapa sigue tomando vital importancia el vacío, pero además es una de las zonas que debe tener unas muy buenas condiciones de la malla para que el papel no sufra daños o defectos. Es esta etapa muy importante en la investigación aquí propuesta, debido a que el Air Knife se encuentra participando de este proceso, como elemento de limpieza para entregar al proceso

una malla apta para recibir el papel del paso anterior. Para el proceso de secado cobra vital importancia la clase de fibra que se esté utilizando, ya que dependiendo de su longitud, grado de refinación y calidad afecta directamente la drenabilidad, porque a mayor concentración de finos, la malla tiende a saturarse y hace que el tejido de la misma se vaya taponando lo que impide que el vacío pueda hacer eficientemente su trabajo de remoción; es por esto que no solo el tipo de malla que se utilice es importante, sino también el tipo de fibra y el tratamiento que se le de esta.

En el recorrido realizando en este documento, el lector irá pasando por cada una de las etapas, se muestra como es el impacto de este proceso en la utilización de recursos naturales, llámese agua, madera, energía. Hablando específicamente en energía y en la manera de utilizarla eficientemente, es donde se puede ver de la importancia que tiene buscar métodos alternativos de hacer las cosas, nuevas alternativas que permitan “hacer más con menos” y se pueda ser sostenible en el tiempo, a la vez que se impacta directamente en el buen uso de los recursos naturales. (Lecta, 2017).

4.2.4 MÉTODOS DE LIMPIEZA CON AGUA

Estos métodos son muy eficientes para obtener una buena limpieza, son realizados a través de simplemente duchas con una caída importante de presión, hasta duchas de alta presión para remover los diferentes tipos de contaminantes que podemos encontrar en las mallas., sin embargo, este tipo de técnica no se puede aplicar a todas las etapas del secado, porque no en todos los pasos se tiene el mismo porcentaje de agua en la pasta. Si la parte del proceso lo requiere, y una buena ducha de alta presión con agua no es suficiente, se hace necesario implementar métodos alternativos como duchas de aire a presión para secar la malla y prepararla así para una buena transferencia.

Las técnicas de duchas ya sea de agua o a presión de aire, no son los únicos métodos que se pueden utilizar, también se pueden dosificar algunos químicos que preparan la pasta y hacen que las cargas en las aguas se equilibren, logando así evitar la formación de gomas que son unos de los principales factores de taponamiento de mallas y que implican mayor tiempo perdido durante la producción por su difícil remoción. Los sistemas de oscilación para los diferentes tipos de duchas, son tan importantes como las mismas duchas, ya que, si se obtiene un sistema con algunas, incluso muy pequeñas deficiencias de homogeneidad, pueden dañar las mallas o deteriorar de manera súbita la vida útil de estas. Es muy importante saber que de acuerdo a la materia prima que se está utilizando, es decir,

si se está trabando con fibra virgen o fibra reciclada, también hay que estudiar cual es el método de limpieza adecuado, porque el contenido de finos no es el mismo, al igual que las cenizas, el largo de fibra es diferente; y si el concepto es irse siempre a lo mejor o máxima limpieza, puede llegar a ser un proceso ineficiente desperdiciando una cantidad importante de energía porque estos sistemas son de gran costo en su operación. (Cole, 2009).

4.2.3 EVOLUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

En la industria existen muchas aplicaciones relacionadas con el aire comprimido, expuestas en las referencias anteriores, lo que ha mostrado una evolución en el tiempo es la aplicación del aire en un sistema laminar, conocido como el “Air-Knife” ya que el principio de funcionamiento ha sido el flujo laminar para poder secar y/o soplar de manera uniforme en una sección longitudinal de un elemento.

La automatización permite integrar una serie de tecnologías con el fin de lograr una producción, un objetivo esperado, desperdiciando la menor cantidad de material en el menor tiempo posible, aplicando este concepto a una secadora de papel industrial se puede obtener un mayor rendimiento de materia prima (madera) debido a que se evita la corrosión de dicho material. Uno de los principales aportes a la construcción del “Air-Knife” se evidencia cuando se pretende evitar la condensación de vapores de agua dentro de una máquina secadora.

Los principales efectos de la condensación dentro de una maquinaria son los siguientes:

- Corrosión de tuberías metálicas: con el tiempo se pueden presentar fugas y representan un factor de riesgo en la industria.
- Entorpecimiento de los accionamientos neumáticos: dado que las humedades acumuladas pueden oxidar los pistones de los cuales se compone el dispositivo.
- Errores de medición en equipos de control: puesto que pueden oxidar componentes internos (engranajes y pulsadores) de los sistemas de control.

En general estos inconvenientes pueden causar un mal funcionamiento de un proceso y su reparación suele ser costosa debido a que dicha maquinaria es sellada, para evitar fugas y su desmontaje es complicado.

4.3 MARCO LEGAL

Cuando se hace el reemplazo de equipos o tecnología por otra más eficiente, el gobierno nacional otorga incentivos que van desde recursos para su implementación, hasta beneficios tributarios, mediante la presentación nueva tecnología o equipos más eficientes para el aprovechamiento energético. Ley 1715 de 2014, del ministerio de minas y energía.

Cumplir con las metas de reducción de huella de carbono de acuerdo a la norma ISO 14064 la cual establece que la **Huella de Carbono** es un indicador que busca medir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, medidas como emisiones de CO₂, las cuales se liberan a la atmósfera por las actividades humanas, agrícolas, industriales, etc.

Los artículos expuestos a continuación son normas de consulta complementarias a la reglamentación de la huella de carbono.

ISO 14025:2006 *Etiquetas y declaraciones ambientales — Declaraciones ambientales tipo III — Principios y procedimientos*

ISO 14044:2006, *Gestión ambiental — Análisis de ciclo de vida — Requisitos y directrices*

ISO 14050, *Gestión ambiental — Vocabulario*.

Los datos e información contenidos en este documento fueron preparados por un comité técnico, el comité no asume la responsabilidad con el uso de la información o datos incluidos bajo patentes, derechos de copia o leyes de comercio. El usuario es responsable de determinar que este documento es la más reciente edición publicada. (Neun, 1991).

4.4 MARCO REFERENCIAL

4.4.1 ALISTAMIENTO DE LAS MALLAS O PREPARACIÓN DE VESTIDURAS

La malla es una tela formada por un tejido de hilos sintéticos de alta resistencia y con un diseño especial cuyo objetivo es dejar que el agua pase a través de ella y retener el papel o la hoja que esta sobre la superficie de la malla. (Ver Figura 6)

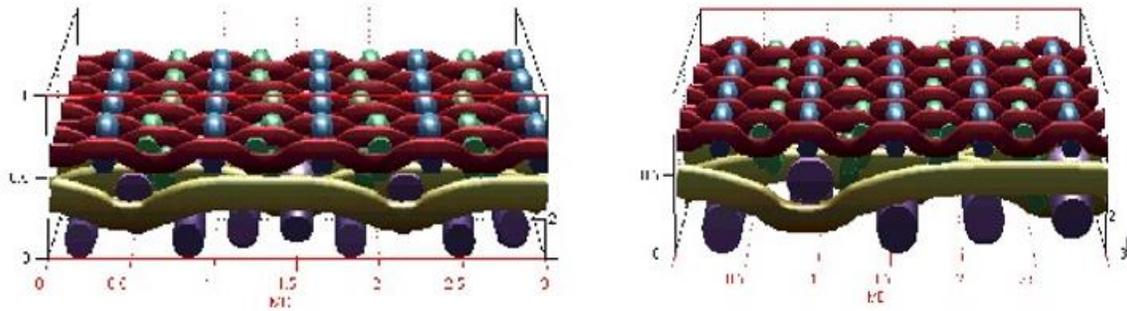


Figura 6. Diferentes Topologías de mallas

La malla puede ser contaminada tanto por obstrucción de la estructura interna como por fijación de contaminantes en la superficie de ella, así mismo el agua que pasa a través de la malla pueden arrastrar cantidades pequeñas de fibra que van saturando el tejido. Para cada caso de obstrucción se requiere una aplicación diferente de ducha. Además de la limpieza de la tela, una cuestión importante a ser considerada es el proceso de limpieza de la máquina.

Es evidente que el contaminante, conforme se remueve de la malla, se depositará en algún lugar de la máquina. Pero con una correcta localización de las duchas, las áreas donde los contaminantes se depositan serán minimizadas o eliminadas.

Algunas veces se han utilizado equipos auxiliares, que pueden capturar el contaminante removido y llevarlo hacia afuera de la máquina, proporcionando grandes mejoras en todos los sistemas de limpieza de los formadores.

4.4.2 RECOMENDACIONES COMUNES

Para diferentes tipos de limpieza, existen algunas recomendaciones comunes. En todos los casos es prudente tener la temperatura del agua y nivel de pH iguales o próximos al de la pasta. Esto evitará un posible choque químico o térmico, precipitando sales disueltas que se pueden alojar en la tela formadora.

El diámetro de las boquillas usadas depende del contenido de sólidos (mg/l) presente en el agua disponible para la ducha. La tabla muestra una relación entre cantidad de sólidos y diámetros de boquillas de las duchas para operar sin problemas. Es importante verificar regularmente la condición de las duchas. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Relación entre la cantidad de sólidos y los diámetros de las boquillas

Carga de sólidos PPM (mg/l)	Diámetro mínimo de la tobera - mm	Principio
0-50	sin límite	Equivalente al agua fresca
50-75	1.0	
75-100	1.4	
100-200	3.0	
200-500		Se recomienda regadera con escobilla
Superior a 500		Se recomienda regaderas con purga

4.4.3 CONTAMINACIÓN INTERNA

Boquillas desgastadas u obstruidas pueden reducir el flujo del agua, proporcionando una limpieza irregular. El resultado de esto pueden ser papeles con malos perfiles de gramaje o de espesor, o que surjan franjas en las mallas. (Ver Figura 7).



Figura 7. Boquilla nueva o en buen estado vs boquilla con contaminación en aguas

Para limpiar la estructura interna de las mallas, es necesario un flujo de agua a través de ella. Este flujo arrastra contaminantes como partículas de arena, fibras y sales insolubles. La principal fuerza motora para este tipo de limpieza es la cantidad de agua fluyendo a través de la malla. Flujos muy bajos solamente desplazarán los contaminantes dentro de la tela, pero sin removerlos.

4.4.4 DUCHAS TIPO ABANICO INTERNOS

Duchas internas tipo abanico se pueden usar para soltar contaminantes adheridos. El principio de este método de limpieza es el hecho de que cuando la tela cubre un rodillo, crea un gran pulso de vacío. Este vacío arrastrará el contaminante a través de la tela, transfiriéndolo al rodillo. El contaminante se remueve de la superficie del rodillo con el uso de raspadores. La Figura 8, muestra esta configuración. Obteniéndose la mejor limpieza cuando esta regadera está localizada en el rodillo guía de retorno, y lo más alejado del rodillo cabecero. Las duchas tipo abanico internos no remueven efectivamente todos los contaminantes. Son necesarias duchas adicionales de limpieza. Ver Figura 8.

Recomendaciones:

Presión: 3 - 7 bar (43-100 psi)

Boquillas:

- Diámetro: +/- 3 mm
- Separación: 75 mm
- Distancia hasta la malla: 100 mm
- Abanico: 45°

Agua: agua blanca clarificada (ABC)

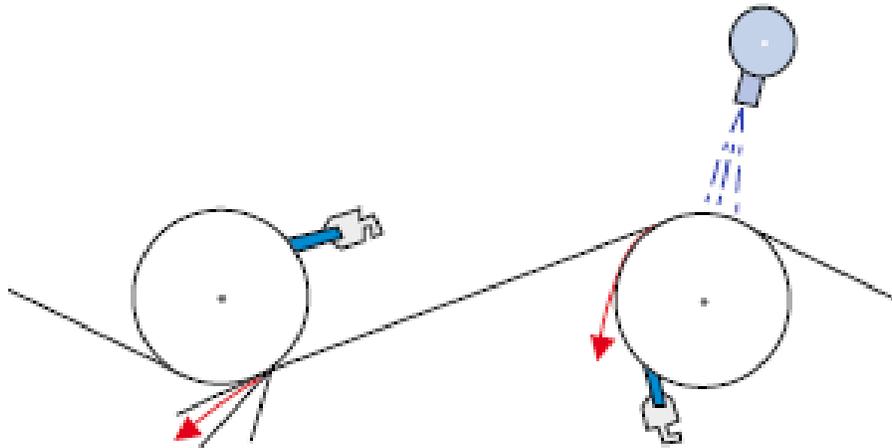


Figura 8. Abanicos internos

4.4.5 DUCHA DE INUNDACIÓN

Las duchas de inundación, como medio de limpieza no se utilizan con tanta frecuencia debido al alto volumen de agua necesario. En la mayoría de los casos, este tipo de regadera se utiliza parcialmente para limpieza. El objetivo principal es despegar la hoja en roturas. Por esta razón, la ducha está localizada normalmente cerca del nip formado entre la malla y el rodillo accionador, como lo muestra la Figura 9. El volumen mínimo de agua para llenar el vacío de la tela se puede calcular usando la velocidad, el ancho y el volumen vacío de la malla de acuerdo con la siguiente fórmula:

Volumen Vacío en Operación [l/min]

$$VVO = W * Vt * Lt \text{ (l/min)}$$

W = Volumen vacío de la tela [l/m²]

Vt = Velocidad de la tela [m/min]

Lt = Ancho de la tela (m)

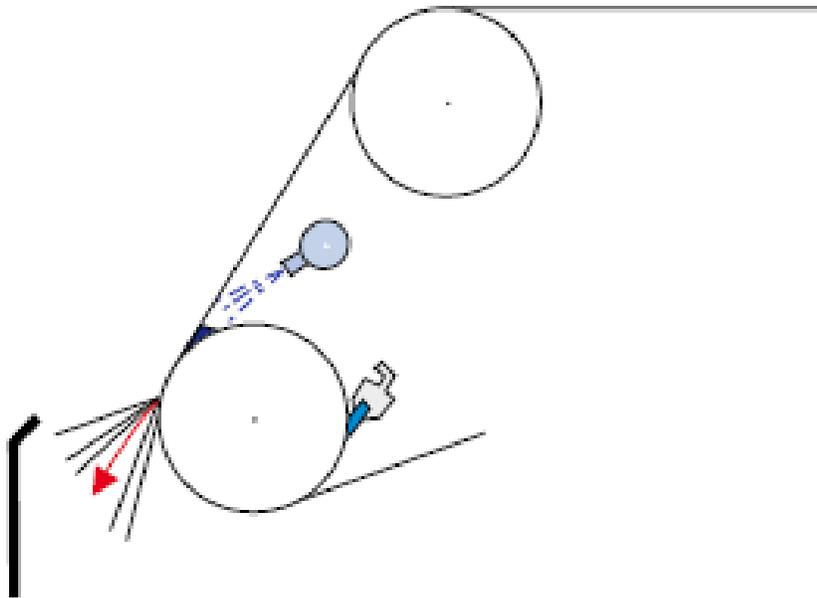


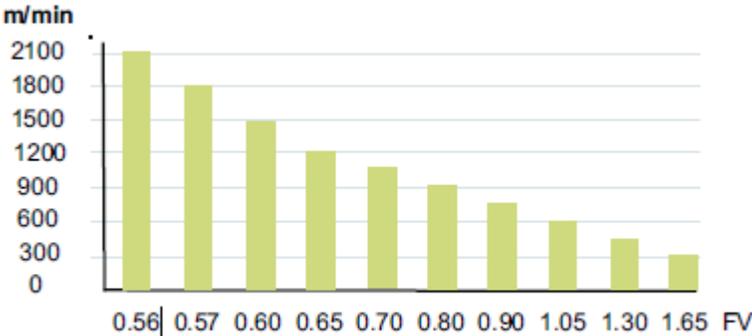
Figura 9. Ducha de Inundación

El volumen mínimo se llama VVO (Volumen Vacío en Operación). Si este fuera desconocido, puede ser estimado multiplicando el actual espesor de la malla por el 60%. Como garantía de agua suficiente para separar la hoja de la malla, el VVO ha sido multiplicado por un factor adicional. La manera segura, pero también cara, es multiplicar el VVO por un factor adicional de 1.25. El método preciso para calcular

el volumen de agua necesario es usar el FV (Factor Velocidad), considerando que para altas velocidades la fuerza centrífuga aumenta de manera exponencial. Por esta razón, el volumen mínimo de agua para garantizar un flujo suficiente, se puede reducir en más del 50% si se compara con el método estándar. El propio FV se puede determinar con base en el gráfico o en la tabla. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Factor de velocidad vs volumen mínimo de agua

m/min	FV
300	1.65
450	1.30
600	1.05
750	0.90
900	0.80
1100	0.70
1200	0.65
1500	0.60
1800	0.57
2100	0.56



El encuentro del chorro con la tela y el rodillo en el nip es importante. Esto asegura que todo el volumen de agua que entra en el nip pasa a través de la malla, separándola de la hoja. De igual importancia es el desplazamiento del abanico en alrededor de 5° para garantizar que un abanico no interfiera con otro, como se muestra a continuación, (Ver Figura 10).

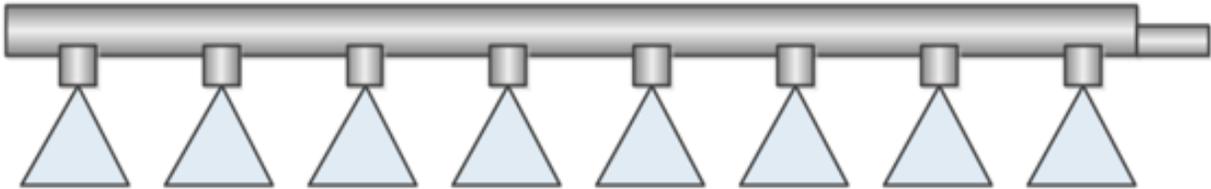


Figura 10. Configuración en abanico

Recomendaciones

- Presión: 6 - 10 bar (87-145 psi)
- Caudal: VVO x FV

Boquilla:

- Diámetro: 4 mm
- Separación: 75 mm
- Distancia hasta la tela: 300 mm
- Ángulo del abanico: 45°
- Ángulo: tangencial
- Ángulo de abrace: 30°
- Agua: agua blanca clarificada (ABC)

4.4.6 CONTAMINACIÓN EXTERNA

Fibras, material aglutinante, pinturas y todo tipo de material adhesivo causan contaminación en la superficie externa de la malla. La remoción de este tipo de contaminación no se puede efectuar sólo con flujo. Se recomienda la utilización de otros medios.

4.4.7 DUCHAS DE ALTA PRESIÓN

El método más eficiente para remover contaminantes de la superficie externa es el uso de duchas de alta presión en el del lado papel de la malla. El objetivo principal es soltar el contaminante, y después removerlo. La excelente limpieza se alcanza solamente cuando el chorro de agua comienza a disociarse y volverse turbulento, arrastrando aire. Esto crea un efecto de fricción, soltando con más eficiencia la suciedad que un chorro laminar. Dependiendo de la presión usada, y de la calidad de las boquillas, la rotura del chorro de agua comienza a una distancia entre 200 y 250 mm del orificio. Se observa también que a esta distancia se crea un efecto de fricción, con más potencial de dañar la malla. Por esta razón muchos proveedores recomiendan una distancia de no más de 150 mm y aceptan la pérdida en la eficiencia de limpieza. De cualquier modo, pruebas y experiencias han mostrado que si la presión no excede a 25 bar, el riesgo de dañar la malla es muy pequeño. Presiones superiores a 30 bar por un período largo tienden a dañar la malla, reduciendo su vida en máquina comparándose con el desgaste normal.

La localización de la ducha influye en la eficiencia y en el nivel de limpieza de la máquina. Una localización tradicional es justamente en el nip formado por la malla y el primer rodillo guía interno. En este caso, una gran parte del agua que fluye a través de la malla vuelve al nip, lavando la estructura interna de la tela (Figura 3). El agua retenida en la tela se lanza hacia afuera por la fuerza centrífuga; y el agua reflejada en la superficie, llevará los contaminantes al tanque de la tela, dejando en este caso la máquina más limpia. (Ver Figura 11).

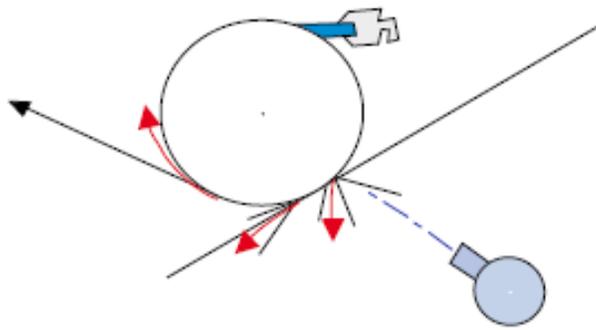


Figura 11. Duchas de alta presión

Una práctica muy común ha sido colocar la ducha antes del rodillo en el lado del papel, con una caja de bajo vacío localizada en el lado opuesto a la ducha, lado del desgaste de la tela (Ver Figura 12). Esta caja lleva la humedad y contaminantes hacia afuera de la sección de formación. Se usa en máquinas de alta velocidad arriba de 1200 m/min. Estas cajas necesitan ser operadas correctamente para evitar el desgaste de la tela, y asegurar las fibras en la superficie.

Este tipo de caja de vacío es primordial para la implantación de las duchas de aire para llevar fuera del proceso el agua que se está sacando de la malla, y minimizar la creación de neblina.

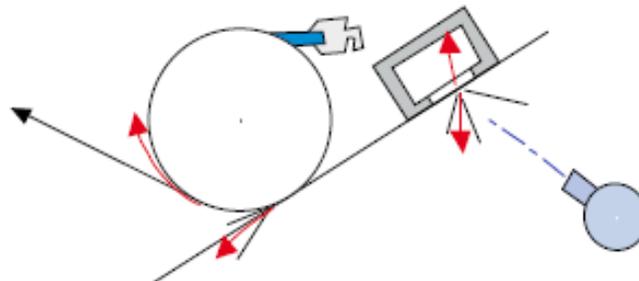


Figura 12. Caja de vacío

La localización de la ducha justo después de un rodillo es menos eficiente porque en esta posición la fuerza centrífuga no está presente para contribuir con la limpieza. Se recomienda que el chorro alcance la malla de forma perpendicular. Esto favorece al aumento de la eficiencia de la ducha porque el chorro raspa los contaminantes de la tela, pero puede también provocar mucha bruma. Y para reducirlo, se

recomienda dirigir el chorro de 5 a 15 grados en la dirección del movimiento de la tela, pudiendo reducir la eficiencia de limpieza (Ver Figura 13).

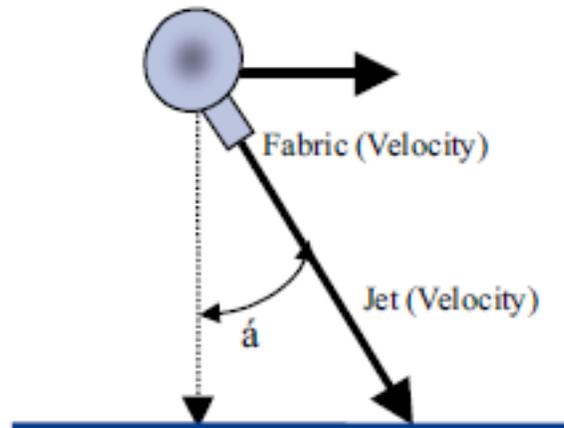


Figura 13. Angulo del Chorro

El diámetro recomendado para la boquilla es de 1 mm. Es el mejor valor para minimizar la obstrucción y optimizar el flujo de agua a través de la ducha.

Recomendaciones

Localización: lado papel, encontrando la malla inmediatamente antes de un rodillo

Presión: 20-25 bar (290- 360 psi)

Ángulo: perpendicular o de 5° a 15° en la dirección del movimiento de la tela

Boquilla:

- Diámetro: 1.0 mm
- Separación: depende de la materia prima usada 75 o 150 mm
- distancia hasta la malla: 200-250 mm

Oscilación: uniforme, sin el tiempo de permanencia al final de cada movimiento. La longitud de la oscilación debe ser igual o múltiple de la separación entre boquillas.

La velocidad debe ser sincronizada con la velocidad de la malla. Ver fórmula abajo para el cálculo adecuado de la velocidad de oscilación y el tiempo mínimo de limpieza.

Fórmula:

Velocidad de la oscilación VO:

$$VO = VT \times 2 \times DB = \text{mm/min}$$

CT

VT - Velocidad de la malla [m/min]

CT - Longitud de la malla [m]

DB - Diámetro de la boquilla [mm]

Tempo de limpieza TL [min]

$TL = CT \times EB$

$VT \times 2 \times DB$

EB - Separación entre boquillas [mm]

4.4.8 DUCHAS INTERNAS DE ALTA PRESIÓN TIPO AGUJA

Se pueden utilizar duchas tipo aguja de alta presión en el lado de desgaste o lado interno de la malla.

Esto normalmente ocurre cuando existen limitaciones físicas para localizarla en el lado papel, o cuando existe mucha contaminación en el sistema. Como los hilos transversales están desgastados, la ducha de alta presión podrá dañarlos, y por esta razón la presión necesita ser reducida. La presión debe ser inferior a 17bar, y la distancia entre la boquilla y la malla inferior a 150mm para prevenir que no se produzca la turbulencia del chorro, que podría causar el efecto de fricción, fibrilar y dañar rápidamente los hilos.

Recomendaciones

Localización: en el lado del desgaste, encontrando la malla justo antes de un rodillo.

Presión: 7-17 bar (100-245 psi)

Ángulo: perpendicular o de 10° a 15° en la dirección del movimiento de la tela

- Boquilla:
- Diámetro: 1.0 mm
- Separación: dependiendo de la materia prima, 75 o 150 mm.
- Distancia hasta la tela: 100-150 mm
- Oscilación: uniforme, sin el tiempo de permanencia al final de cada movimiento. La longitud de la oscilación debe ser igual o múltiplo de la separación entre toberas.

La velocidad debe ser sincronizada con la velocidad de la malla. (Ver Figura 14).

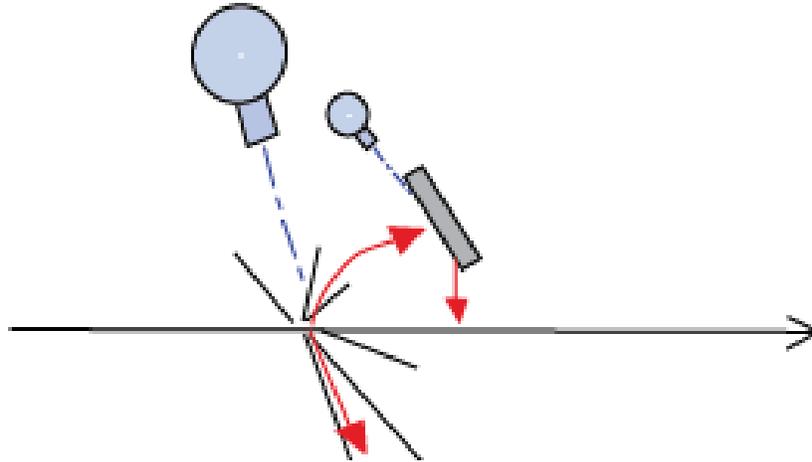


Figura 14. Duchas tipo aguja

La Figura 15, ilustra las cuatro zonas de un chorro de agua, a medida que la corriente abandona el límite de la boquilla se comienzan a notar los efectos de borde, por tanto se introduce turbulencia al sistema lo cual hace que no sea tan eficaz pasando a la segunda zona de dispersión, consecuentemente en la zona 3 por la mayor cantidad de dispersión se pierde aún más calidad en la concentración, aunque sigue siendo efectiva, finalmente en la zona 4 por el distanciamiento de la boquilla y la turbulencia se pierde efectividad, los análisis obtenidos muestran que la mejor efectividad para la aplicación de esta aguja de agua está entre las zonas 2 y 3.

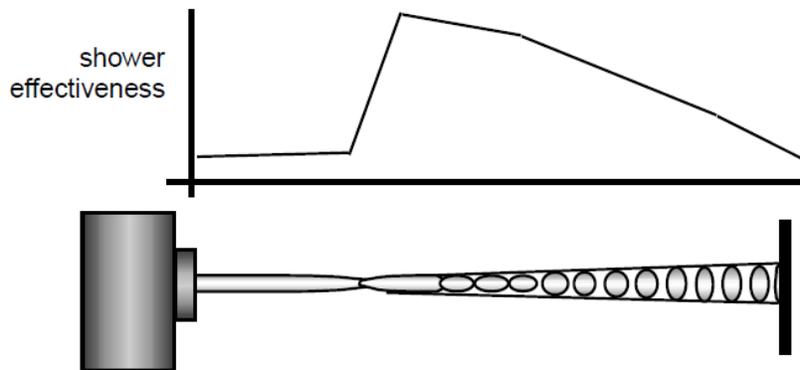


Figura 15. Efectividad de la ducha vs distancia de la tela. Las colisiones de partículas como gotas de agua que golpean la tela aparentemente juegan un papel importante en la limpieza.

4.4.9 CAJAS DE SUCCIÓN

Cajas de succión localizadas en el lado del desgaste de las mallas, directamente en el lado opuesto a la ducha de alta presión, es el método más eficiente para evitar la contaminación en el lado interno del circuito de la malla. Este método puede ser utilizado para posiciones superiores e inferiores. El agua y la bruma que salen del lado del desgaste de la tela van a la caja de succión y se las transporta hacia afuera de la máquina. Para que se obtenga el mejor resultado, el chorro debe alcanzar el final de la primera lámina de la caja de succión (Ver Figura 16). Se requieren operaciones adecuadas de las cajas para evitar acumulación de fibras en las láminas.

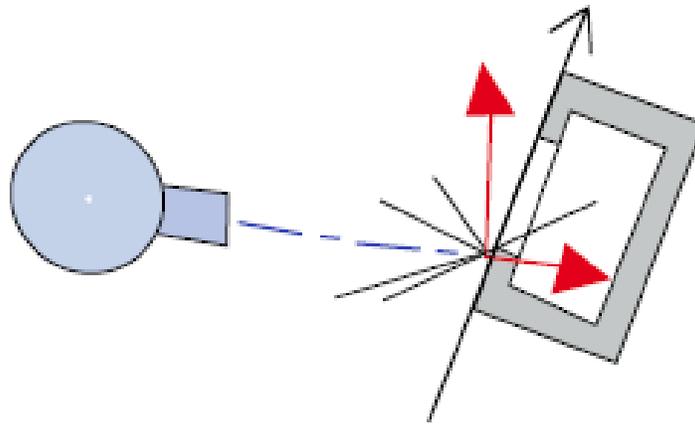


Figura 16. Caja de vacío

Recomendaciones

Ancho de la ranura: 50-75mm (para máquinas sobre los 1000 m/min)

Vacío: 0.05-0.10bar (5-10 kPa)

Caudal: 250 m³/m² (ranura/min)

Lugar del chorro: justo después del primer "foil"

4.4.10 DUCHAS COMBINADAS AGUA/AIRE

Las máquinas de alta velocidad del tipo Gap Former son muy sensibles en lo que se refiere a la limpieza de las mallas, así como de la máquina para mejorar eficiencias operacionales y perfiles transversales. Proveedores de equipos y constructores de máquinas han desarrollado nuevas técnicas de limpieza, que combinan agua y aire a presión para remover contaminantes y agua retenida dentro

de la estructura de la malla. Ejemplo: el Hi- Dri Cleaner de Metso y Jet Cleaner de Voith.

4.4.11 DUCHAS CON ALTÍSIMAS PRESIONES

Además de las duchas de alta presión oscilantes, se pueden aplicar duchas con actuación transversal de altísima presión, como el DuoCleaner de Voith y el EasyCleaner de Metso. Son duchas que trabajan con presiones de hasta 250bar, pero debido a los diámetros muy pequeños de las toberas (0,2mm), no dañan la malla. En la mayoría de las veces, la utilización de estos tipos de duchas, no elimina la aplicación de las duchas de alta presión. Este método puede usarse en máquinas con alto nivel de contaminación. Permite limpieza en áreas específicas de la malla, es muy eficiente contra partículas pequeñas y consume bajo volumen de agua. Las duchas con altísimas presiones requieren agua fresca o agua clarificada, extremadamente limpia, y exigen limpiezas constantes del lugar, pues el recorrido de oscilación de la regadera es igual al ancho de la tela formadora.

4.4.12 DUCHAS ADICIONALES

Además de las duchas de limpieza de las mallas, son necesarias duchas de lubricación de rodillos, láminas y cajas de alto vacío. No existe ninguna recomendación específica para estas mallas por parte de los proveedores. Es una cuestión de experiencia de cómo ajustarlas para un funcionamiento eficiente. Para duchas de lubricación de cajas de alto vacío se debe controlar la cantidad de agua adicionada y promover la distribución uniforme para evitar problemas de perfil. La adición de agua para lubricar los bordes de las láminas estacionarias también se utiliza mucho, pues se evita el desgaste localizado.

4.4.13 OSCILADORES PARA DUCHAS

Los osciladores son equipos, en la mayoría de las ocasiones electromecánicos o electro-neumáticos, construidos para instalar en uno de los extremos de la ducha con el fin de brindarle movimiento a ésta, para que el chorro de agua no se quede en un solo punto, pues esto ocasiona desgaste irregular en la malla. A continuación, se hace referencia a las principales recomendaciones para su utilización.



Figura 17. Mecanismo de un Oscilador Mecánico

- Los osciladores son elementos obligatorios para el funcionamiento de las duchas de aguja de alta presión y para los raspadores en los rodillos.
- Los osciladores deben estar ajustados de acuerdo a la velocidad de la malla, avanzar un diámetro de la boquilla por revolución de la malla.
- La velocidad cambia automáticamente con respecto a la velocidad de la máquina.
- La ducha no puede arrancar antes de que el oscilador empiece a moverse, ni antes de que la malla comience a girar, hay que garantizar primero el movimiento de estos dos elementos para evitar daños en la malla.

5 DISEÑO METODOLOGICO

5.1 TIPO DE ESTUDIO

El estudio está orientado a la describir e identificar los rasgos y características de un objeto en particular, esta soportado principalmente en técnicas de observación y revisión documental, lo que lo hace parte de un estudio de tipo descriptivo.

5.2 POBLACIÓN

Con esta innovación se pretende llevar una solución diferente a las empresas productoras de papel que son sin lugar a duda son grandes consumidores de energía eléctrica, para que puedan contribuir con sus proyectos a minimizar el impacto al medio ambiente haciendo sus productos de una manera más eficiente y que también puedan de esta manera obtener una mejor confiabilidad de sus equipos y mejorar la rentabilidad.

5.3 LA MUESTRA

En la construcción de este documento, se ha elegido como base de estudio e investigación una industria del sector papelerero, por ser empresas con procesos productivos muy exigentes desde el punto de vista de procesos y energía, con oportunidades para optimizar sus recursos, y además ésta máquina en particular tiene algunos días disponibles de producción en el mes, lo que permite tener libre la maquina hacer cambios para la respectiva investigación.

5.4 HALLAZGOS

5.4.1 AJUSTE DE LA DUCHA DE AIRE SEGÚN ENSAYOS REALIZADOS

Durante los primeros meses del proyecto, fueron tomados los datos de energía del Blower, para mirar su comportamiento y tener las tendencias de consumo, además se tomaron datos de proceso como humedad antes y después de la aplicación, con cámaras termográficas para tener un punto de comparación una vez instalado el reemplazo de este equipo. (Ver Figura 18)



Figura 18. Termografía del punto de aplicación del Air Knife

Los estudios arrojaron que la malla antes del existente Air Knife estaba con una temperatura de 33.9° Centígrados y salía a 43° Centígrados, con un contenido de humedad menor, perceptible visualmente y palpable en la malla, ya que en este punto no es posible tener un medidor de humedad.

También se obtienen los costos asociados a consumo energético del Air Knife, como ya se ha mencionado en el documento debido básicamente al consumo de energía eléctrica.

Después de adquirir la ducha de aire, se toman las medidas para fabricar los planos de fabricación del soporte necesario para instalar la ducha a la máquina, con desplazables en sentido vertical que permita acercar y alejar la ducha a la malla, pues aunque se tenga información sobre el mejor punto de aplicación, es probable que para la aplicación en particular sea necesario encontrar otro punto de mayor eficiencia, también es necesario que se pueda variar el ángulo de ataque del flujo de aire con respecto a la dirección de la malla.

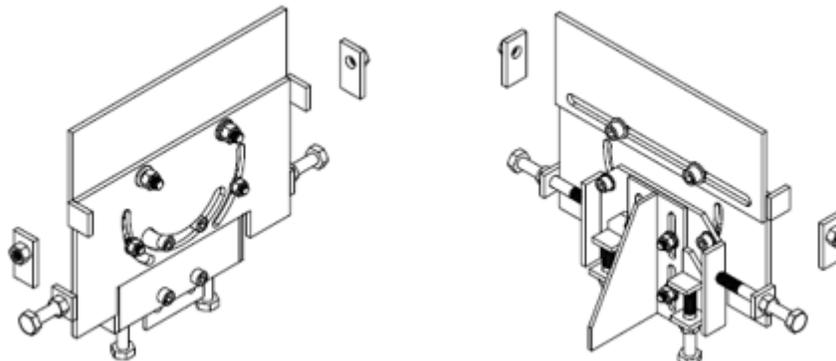


Figura 19. Imagen soporte desplazable

Gracias a la flexibilidad del soporte y después de muchos ensayos, se encuentra un punto donde la ducha funciona de manera adecuada y podemos sacarle su mayor provecho.

Estos valores fueron:

Presión de funcionamiento 85 - 90 psi

Angulo de ataque 5° en sentido opuesto al giro de la malla

Desde el punto de vista del funcionamiento de la nueva cuchilla se ve que ésta funciona adecuadamente y cumple con los requisitos para dicha aplicación; en cuanto a su confiabilidad también se observa que a medida que avanza la producción en el mes, se va ensuciando; dicha suciedad no es más que pequeñas partículas de pasta que se le adhiere a la ducha producto de la elaboración del papel que se queda en la malla haciendo que se migre al cuerpo de la ducha cuando saltan por el efecto del choque del chorro de aire sobre la malla.

Debido a este efecto de taponamiento de la ducha, pierda eficiencia al modificar su topología, y su bondad para generar aporte del aire del ambiente mediante el efecto Venturi se ve seriamente afectado. Por tal motivo fue necesario adecuar una ducha de agua a presión justo antes de la ducha de aire, además de la ducha de inundación que viene por defecto como elemento estándar en la máquina, que limpiara la malla de estos residuos de pasta y pueda permanecer la ducha en buenas condiciones de operación durante todo el mes.

Es por esta situación encontrada que esta investigación hace un gran énfasis en el alistamiento o preparación de las mallas o vestiduras, como paso obligatorio para la utilización de este tipo de tecnología de cuchillas de aire a presión. (Capítulo 4.4)

Tabla 3. Ajuste o recomendaciones encontradas para la implementación de la ducha a presión

Parámetro	Ajuste o Recomendación encontrada
Altura de la ducha con respecto a la malla	4 cm
Angulo de ataque entre ducha y malla	5° en sentido contrario al giro de la malla
Presión de funcionamiento	85-90 psi
Apertura del labio de la ducha	0.12mm

Ducha de inundación	En el Nip interno del rodillo inmediatamente anterior a la ducha de aire
Ducha de alta presión	Tipo aguja, instalada entre la ducha de inundación y la ducha de aire, a una presión entre 400- 500 psi

5.4.2 COSTO APROXIMADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DUCHAS DE AIRE COMPRIMIDO

Para la implementación de la ducha de aire a presión en la empresa de papel ha sido necesario la adquisición de los siguientes elementos y servicios:

- Compresor \$ 120'000.0000
- Cuchillas de aire \$ 90'000.000
- Montaje \$ 70'000.000
- Investigación y desarrollo, esto incluye tiempo de máquina requerido y curva de arranque, personal de planta dedicado al proyecto \$38'000.000
- Costo de la ducha de agua a alta presión con su respectivo oscilador \$ 63'000.000
- El total de la inversión contando soportaría y montaje es: \$ 381'000.000

5.4.3 RETORNO DE LA INVERSIÓN

El retorno de la inversión será calculado básicamente con respecto al ahorro energético que es el objetivo principal de esta implementación, comparado con el consumo del equipo anterior,

Tabla 4. Cuadro Comparativo del Consumo Energético de los dos Sistemas

Calculo del Beneficio		
	Blower	Ducha
Costo del equipo		\$ 381'000.000
Costo de la energía eléctrica	´\$ 290 Kilovatio (KW)	´\$ 290 Kilovatio (KW)
Tiempo de operación de maquina	24 horas al día, 25 días al mes durante los	24 horas al día, 25 días al mes durante los
consumo instantáneo	400KW	75KW
Costo anual por consumo	\$835'200.000	\$156'000.000

Los kilovatios ahorrados serían 325KW, que equivalen a \$678 Millones de pesos anuales, únicamente generados por el costo de la energía eléctrica.

Se puede ver entonces que es un proyecto muy atractivo por tener un retorno bastante bajo, estamos hablando de alrededor de seis meses y con flexibilidad para su expansión o reemplazo; y eso que no se está considerando el gasto por mantenimiento que puede no llegar a ser algo tan relevante comparado con los valores de energía consumida.

5.4.4 SOLUCIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Con la implementación de esta tecnología en la planta piloto, se han podido evidenciar en los últimos tres meses ahorros por 182 millones, correspondientes básicamente al consumo eléctrico, que como se puede ver en la tabla es de 325KW instantáneos. (Ver punto anterior 5.4.3), donde finalmente en este punto se estaría dando respuesta al objetivo principal de la investigación (Reducir el consumo energético en las maquinas papeleras mediante el reemplazo del Air Knife, por una ducha de aire a presión de última tecnología y energéticamente más eficiente.) además con costos de implementación más bajos que un Air Knife tipo Blower que si bien no se ha hablado de su precio, de acuerdo al fabricante que se elija podría costar hasta tres veces más que la implementación con duchas de aire comprimido. A continuación se presentan las respuestas a los objetivos específicos.

5.4.4.1 BENEFICIO DE CAMBIAR EL AIR KNIFE POR NUEVA TECNOLOGÍA DE DUCHAS DE AIRE A PRESIÓN

- ✓ Sin lugar a dudas el primer beneficio que se obtiene al cambiar esta tecnología, es la reducción de energía eléctrica, representado como KWH, pero que al final se traduce a pesos. (ver numeral 5.5.4 retorno de la inversión)
- ✓ Los costos de mantenimiento son alrededor de un 30% más bajos, pero las piezas de desgaste son menores en la ducha de aire comprimido que en el blower.
- ✓ Tener un equipo de respaldo es mucho más fácil, puesto que en la mayoría de las compañías existen por lo menos dos compresores que sirven como respaldo al sistema, lo que sería muy diferente a un blower que por su construcción más especializada sería mucho más difícil tener una gran inversión para dejarlo solo como equipo de respaldo.

- ✓ La confiabilidad del equipo es mayor, por ser un sistema más sencillo, y que puede absorber variaciones con más facilidad sin dañarse ya que el blower requiere de unos parámetros de operación muy detallados y precisos.
- ✓ Las duchas de aire no afectan el ciclo de vida útil de la malla, ya que hay un gap entre ellas; lo que no ocurre con la aplicación del blower que está directamente sobre la malla y a largo plazo se produce un desgaste entre las dos parte.

5.4.4.2 NECESIDADES DE ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS CUCHILLAS DE AIRE

En las plantas donde existe un air Knife para el proceso de secado, para la malla de transferencia, y que se desee implantar esta tecnología, se debe hacer primero que todo un análisis del proceso para saber con qué tipos de contaminantes está llegando la malla al punto de aplicación; y de acuerdo a los resultados, se elige el tipo de ducha o limpieza que debe ser instalado para que la implementación sea exitosa, apoyado en las buenas prácticas para el alistamiento de mallas o vestiduras presentado en este mismo estudio (ver Cap. 4),

5.4.4.3 COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS DUCHAS DE AIRE A PRESIÓN FRENTE AL MODELO EXISTENTE DE AIR KNIFE, ESTABLECIENDO COMPARATIVAS ENTRE ELLOS

Tabla 5. Comparativo de la Funcionalidad entre los dos Sistemas

FUNCIÓN, REQUERIMIENTO O NECESIDAD	AIR KNIFE TIPO BLOWER	DUCHA A PRESIÓN	OBSERVACIÓN
Sistema de limpieza anterior a la aplicación de air Knife	Basta con ducha de inundación.	Es necesario ducha de inundación y ducha de alta presión	Las aplicaciones con blower son menos exigentes en la limpieza anterior de la malla, pues al ir el air knife pegados a la malla la suciedad se queda allí superficialmente, pero si no se limpia periódicamente puede dañar súbitamente la malla.

Eficiencia en el secado de la malla	Extrae el agua de la malla 70%	Extrae el agua de la malla 90%	Aunque la ducha de aire comprimido logra extraer un poco más de agua al final los dos sistemas suelen ser igual de efectivos ya que la aplicación con blower aporta temperatura al sistema.
Facilidad de arrancar y parar el sistema	Número limitado de arranques por hora	El sistema puede entrar y salir sin restricción	Los Blower normalmente están limitados a dos arranques por hora debido a su gran tamaño y potencia elevada; mientras las duchas solo tienen una válvula para cortar el suministro. Además el compresor se modula, enciende y apaga según necesidad automáticamente
Facilidad de reemplazo en caso de un daño	Es necesario equipos de elevación	Es posible retirar la cuchilla con una sola persona	En caso de una obstrucción, o revisión, es necesario tener para la aplicación con el blower equipos de elevación por ser un equipo robusto, mientras que la ducha de aire es liviana construida en aluminio y fácilmente una sola persona puede retirarla
Observación directa del buen funcionamiento	No es posible observarlo directamente	Es posible comprobar el adecuado funcionamiento directamente	Para comprobar si la aplicación con blower se está realizando uniformemente, tiene que hacerse a través del perfil de humedad de la hoja de papel donde se puede asumir su homogeneidad de acuerdo a las líneas de humedad en el papel; esto debido a que es un equipo que trabaja pegado a la malla. Mientras que la aplicación con la ducha de aire comprimido, tiene un espacio entre la malla y la ducha que permite visualizar como se está comportando el flujo de agua que es retirado de la malla.

6 CONCLUSIONES

Dentro de las pocas soluciones que hay en el mercado, se decide adquirir una cuchilla de la empresa americana, EXAIR, que, dentro de su portafolio de productos, fabrica cuchillas de aire utilizadas para el secado de piezas en diferentes industrias después de que salen de su proceso de mecanizado o lavado, según sea el producto. Se logra ajustar este tipo de cuchillas al proceso en la máquina de papel, se realizan ensayos para determinar las diferentes configuraciones que se pueden tener, pues estas permiten tener muchos puntos o configuraciones posibles por donde moverse gracias a su flexibilidad y modularidad, y se puede buscar una mejor operación de la misma ajustada a al proceso de la máquina.

Desde el punto de vista del funcionamiento de la nueva cuchilla, se observa que funciona adecuadamente y cumple con la aplicación que se requiere, logrando además el propósito principal que es la reducción del consumo energético.

Debido al efecto de taponamiento de la malla, la ducha pierde eficiencia y su bondad para generar aporte del aire del ambiente mediante el efecto Venturi se ve seriamente afectado. Por tal motivo es necesario adecuar una ducha de agua a presión justo antes de la ducha de aire, que pueda limpiar la malla de estos residuos de pasta y poder mantener la ducha en buenas condiciones de operación.

Para la adecuación de las duchas de aire comprimido se hace casi obligatorio tener un panorama completo sobre el alistamiento o preparación de las mallas o vestiduras y del estado actual de ellas en el sitio donde se desee implementarlas para ser considerados todos los sistemas necesarios en el presupuesto y tiempo de ejecución del proyecto.

7 RECOMENDACIONES

En el desarrollo de la investigación, más específicamente en las pruebas que se hicieron en el campo o punto de aplicación, se encontró que la posición adecuada de la ducha esta entre 5° y 15° en sentido contrario a la velocidad de la malla, en este punto se tiene el mejor punto de extracción de agua y se minimiza la neblina producida por el chorro de agua al chocar contra la malla húmeda. Esto parece ir en contraposición de las buenas prácticas para duchas de agua que sugiere ir con este ángulo en sentido de giro de la malla, pero hay que recordar que son fluidos diferentes y en la práctica se comportan muy diferente cuando impactan en la malla, dependiendo además de la presión con la que se aplique el fluido.

La base sobre la cual se instale la ducha debe tener desplazables en todos los sentidos, además de permitir el giro entre los ángulos recomendados con el fin de encontrar su punto óptimo de aplicación. Para la implementación de la ducha de aire a presión, es absolutamente necesario llegar con la malla libre de fibra, es decir, la malla al punto de aplicación debe llegar lo más limpia posible para evitar que se ensucie debido al mismo efecto Venturi que ella genera.

Es recomendable instalar una ducha de inundación en el rodillo anterior a la ducha de aire, que normalmente viene instalada con la máquina, e inmediatamente después del rodillo, adicionalmente se hace necesario instalar una ducha de alta presión aproximadamente a unos 400-500psi, para terminar de limpiar profundamente la malla, con su respectivo oscilador, con el fin de garantizar que llegue a la ducha de aire solo con agua y evitar que se ensucie con la pasta o fibra del proceso.

Este aparatado describe las consideraciones básicas para la aplicación y uso de las duchas en máquinas de papel, así como para limpiar y acondicionar las mallas; pero hay que tener cuidado porque cada máquina según sus especificaciones necesita un método diferente de aplicación.

Se debe tener cuidado de no realizar contacto con la máquina mientras esta se encuentre en funcionamiento, pues ninguna inversión se justifica cuando se corre riesgos que afecten la salud de las personas o equipos.

8 REFERENCIAS

(2017). *Procesos de producción KC*. Recuperado de <http://fabricaideas.pe/portfolio/procesos-de-produccion/>

Lamson. (2000). *Lamson 2000 frame*. Recuperado de <http://www.hoffmanandlamson.com/products/blowers-and-exhausters/multistage/60-hz/large-inlet/lamson-2000-frame/>

Bernal, Cesar. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Bogotá, Colombia: Pearson tercera edición.

(2016). *Cooling Faric with a super Air Knife Increases Production Speed*. Recuperado de <https://blog.exair.com/2016/01/27/cooling-fabric-with-a-super-air-knife-increases-production-speed/>

(2017). *Energía*. Recuperado de: <https://www.google.com/search?q=energia+definicion&oq=energia+d&aqs=chrome.69i59j0j69i57j0l3.4341j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

(2017). *Definición de consumo energético*. Recuperado de (<http://www.definicion.org/consumo-energetico>),

Guillen, A. (1988). *Aplicaciones industriales de la neumática*. Marcombo: Boyxareu Editores.

Jiménez, S. (2003). *Instalaciones Neumáticas*. Barcelona, España: Editorial UOC.

(2017). *Super Air Knife*. Recuperado de http://products.exair.com/super_air_knife?t=arprc2c9djo95b1jnj61oe8vp4

(2017). *Cortina de aire super Air Knife Exair*. Recuperado de: <http://airtec-servicios.com/portfolio/cortina-de-aire-super-air-knife-exair/combo>

(2015). *General Electric Company; Patent Issued for Inlet Bleed Heat System with Integrated Air Knife/Silencer Panels*. Atlanta: Recuperado de <https://proquest.ezproxy.uniminuto.edu/docview/1725067021/fulltext/F8061FED3D9F4CA5PQ/6?accountid=48797#center>

(2007). *Lanzan vehículos que usan aire comprimido en lugar de gasolina. El comercio.*
Recuperado de
<https://proquest.ezproxy.uniminuto.edu/docview/336335364/fulltext/ECC897D6A014811PQ/4?accountid=48797>

(2017). *Improved efficiency for paper and board making with OptiRunner dryer fabric.*
Valmet Article. Recuperado de: <http://www.valmet.com/media/articles/all-articles/improved-efficiency-with-optirunner-dryer-fabric/>

Aplicaciones en la industria del papel. Recuperado de: publicationpapers.sca.com LECTA Group

(2012). *Formación, fabricación de papel.* TORRASPAPEL S.A. Recuperado de
<http://carlinvallecas.es/wpcontent/uploads/2012/11/FormacionFabricacionPapel.pdf>

Cole. S. (2009) *Cleaning and Conditioning Paper Machine Clothing. PMC's Guidelines.*
Recuperado de:
http://www.paperage.com/issues/july_august2009/07_2009pmc_cleaning.pdf

(2017). *Deshidratación del aire comprimido.* Recuperado de
<http://www.cabestisrl.com.ar/CABESTIsrl/02.informestecnicos.04.htm>

(2017). *ISO/TS 14067. OBP.* Recuperado de:
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:ts:14067:ed-1:v1:es>

(1991). *Paper machine shower recomendations (citado en Deviations in Shower Flow Distribution Due to Nozzle Variations and Shower Oscillation. Neun, J. (1991) TAPPI Engineering Conference Proceedings, Nashville.)*

Neun. J. (1991). *Deviations in Shower Flow Distribution Due to Nozzle Variations and Shower Oscillation. 1991 TAPPI Engineering Conference Proceedings, Nashville.*

Neun. J. (1996). *On-line Cleaning of Dryer Fabrics, 1996 TAPPI Engineering Conference. Chicago.*

Harper. J. (1994). *Dynamics of Energy Transfer from a Shower Jet. 1994 TAPPI Engineering Conference, Sn Francisco.*

MacGregor. M. (1981). *Strobelight Observations of a High Pressure Felt-Cleaning Jet. 1981 TAPPI Pressing and Drying Seminar.*

9 ANEXOS

Los siguientes anexos muestran la planeación, evaluación, dirección y control del proyecto relacionado con la sustitución del Air Knife por las duchas de aire a presión.

Actividades	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
1 Recoleccion de datos de opoeracion en diferentes referencias																								
2 Actualizar cotizaciones																								
3 Montar ordenes de compra																								
4 Recibir repuestos para montaje																								
5 Desmontar Air Knife																								
6 Montar Cuchillas de aire comprimido																								
7 Instalación compresor																								
8 Instalar linea de aire para nuevas cuchillas																								
9 Fabricación soportes para cuchila de aire																								
10 compresor																								
11 Termografias de la malla en el punto del Air Knife																								
12 Curva de arranque																								
13 Mover caja de vacio Mix Eliminator																								
14 Llegada de la scuchillas de aire																								
15 Ajuste del contorl del sistema																								
16 Inicio del proyecto																								
17 Fin del proyecto																								
18 Instalacion del Filtro de aire																								
19 Instalación de secador de aire																								
20 Retirar motor Air Knife																								
21 Demoler bases Motor																								

Anexo 1. Cronograma de actividades

ACTA DE VERIFICACIÓN DE PROCESO

Siendo las ____ del día ____, el Contratista _____
Propietario _____, constataron el estado inicial del acceso a la
planta _____, encontrándose en
el _____
siguiente estado:

El contratista se compromete a:

Por medio de esta acta se concede el permiso de acceso al área en mención. Así mismo el

contratista se compromete a dejar en iguales condiciones el acceso y los terrenos utilizados

en el proceso de construcción y montaje del AIR KNIFE

Soporte: Registro fotográfico

CONTRATISTA

FUNCIONARIO CONTRATANTE

REPRESENTANTE O PROPIETARIO

Anexo 2. Acta de verificación de proceso.

INFORME HSE PARA CONTRATISTAS		
Nº de Contrato/Nº Orden de Entrega:		
Nombre Empresa Contratista:		
Fecha de inicio y duración:		
Objeto del Contrato:		
Nombre y cargo de quien diligencia el informe:		
Mes del informe		
ESTADISTICAS		
SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y GESTIÓN AMBIENTAL		
INDICADOR	CANTIDAD MES	ACUMULADO
Nº de trabajadores activos en el mes		
Nº Horas Hombre Trabajadas		
Nº Accidentes de Trabajo - AT Incapacitantes		
Nº días de incapacidad por AT		
Tipo de accidente		
Sitio de ocurrencia		
Parte del cuerpo lesionada		
Contratación de mano de obra local		
Solicitudes quejas y reclamos		

Anexo 3. Informe HSE para contratistas.

	Nombre del Trabajador	Cédula del Trabajador	Cargo del Trabajador	Tipo de Sangre	Fecha de Ingreso del trabajador al contrato	Fecha Inducción en HSE
1	Carlos Anrdrés Acosta	1.037.573.027	Ingeniero de Proyectos	A+	1/02/2017	1/06/2017
2	Héctor de Jesús Hernández	71.749.562	Director de proyectos	O+	1/02/2017	1/06/2017
3	Luis Fernando Olarte	70.138.762	Jefe de Mantenimiento	AB+	1/02/2017	1/06/2017
	Autorización para iniciar trabajos	No. Planilla	Fecha de Pago EPS	Fecha de Pago AFP	Fecha de Pago ARL	Fecha de PagoCCF
	Pendiente por aprobación	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente	Pendiente
1	Aprobado	223443	7/08/2017	7/08/2017	7/08/2017	7/08/2017
2	Aprobado	223443	7/08/2017	7/08/2017	7/08/2017	7/08/2017
	Fecha de Constancia de entrega de EPP	Fecha de Constancia de entrega de Dotación	Fecha de carnetización	Fecha de Vacunación Hepatitis A	Fecha de Vacunación Hepatitis B	Fecha de Vacunación Tétano
1	1/02/2017	1/02/2017	No aplica	No aplica	No aplica	1/03/2017
2	1/02/2017	1/02/2017	No aplica	No aplica	No aplica	1/03/2017
3	1/02/2017	1/02/2017	No aplica	No aplica	No aplica	1/03/2017
	Aptitud Medica para Trabajos en Alturas	Fecha de Examen de Aptitud Medica para trabajo en Alturas	Fecha Certificación curso en alturas	Capacitación Trabajo en Alturas	Capacitación en riesgo electrico	Inducción en Riesgo Eléctrico
1	Apto para trabajo en alturas	15/02/2017	28/02/2017	20/02/2017	7/02/2017	7/02/2017
2	Apto para trabajo en alturas	15/02/2017	28/02/2017	20/02/2017	7/02/2017	7/02/2017
3	Apto para trabajo en alturas	15/02/2017	28/02/2017	20/02/2017	7/02/2017	7/02/2017
	Capacitación Espacios Confinados	Capacitación Trabajos en Caliente	Capacitación Manejo Seguro de Herramientas	Capacitación Trabajo de Soldadura	Capacitación Manejo de Cargas	
1	No aplica	No aplica	6/02/2017	1/03/2017	No aplica	
2	No aplica	No aplica	6/02/2017	1/03/2017	No aplica	
3	No aplica	No aplica	6/02/2017	1/03/2017	17/03/2017	

Anexo 4. Control de personal