

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION - REY BALDUINO DE BELGICA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
DE CONTROL DE POLVO PARA EL MANTENIMIENTO
DE EQUIPOS ROTATIVOS.**

Trabajo de Titulación para optar al
título de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Alejandro Ignacio Quezada Mora

Profesor Guía:
Juan Figueroa Cohn

Profesional Correferente:
Ing. Luis Sandoval M

DEDICATORIA

A mis padres, Marcela y Luis, quienes me han apoyado incondicionalmente durante este proceso, siempre confiando en mí con orgullo. Gracias por darme la oportunidad de seguir este maravilloso camino.

A Stephanie y Denisse, por acompañarme y motivarme cada día a continuar con este fascinante proyecto.

Para ustedes, va dedicada esta memoria.

I. RESUMEN

En la actualidad las industrias han evolucionado llevando la producción a un nivel competitivo tal que sus metas de producción son cada vez más exigentes, debido a la alta demanda. Ya no importaba solo el factor de producir cada vez más, sino también de obtener retornos económicos a un nivel factible para que la organización pueda reflotar en el mercado y en su propio sustento. Esto significa mantener líneas de producción operativas el mayor tiempo posible. Por ende, una falla inesperada provoca pérdidas económicas tanto en equipos como en ganancias de producción.

En la industria papelera hoy en día la implementación de métodos de mantenimiento es tan fundamental como en cualquier otra planta, sobre todo por las condiciones que se generan dado las características del proceso. Las industrias papeleras son fundamentales hoy en día, debido a la alta demanda de papel que siguen siendo vitales en la vida cotidiana. El papel higiénico es sin duda uno de los elementos más necesarios de producir.

El proceso de fabricación de esta trae efectos que impactan en su entorno dado las características químicas que componen el papel higiénico, donde los principales afectados por este efecto son las propias máquinas que operan para procesar este producto. El polvo de papel desprendido del proceso ha generado un problema en las condiciones de las máquinas debido a su acumulación y adhesión en las superficies de estas, provocando una tendencia a la falla más acelerada debido al aumento de temperaturas que genera y a la necesidad de limpiar la acumulación de este polvo. Esto ha llevado a la problemática de paradas no programadas para intervenir en el problema, lo que genera pérdidas económicas inesperadas en la producción. Esto crea la necesidad de buscar una solución que pueda mitigar los efectos de la acumulación.

SUMMARY

Nowadays, industries have evolved, taking production to a competitive level such that their production goals are increasingly demanding, due to high demand. It was no longer just about producing more and more, but also about obtaining economic returns at a feasible level so that the organization can afloat in the market and in its own sustenance. This means keeping production lines operational for as long as possible. Therefore, an unexpected failure causes economic losses in both equipment and production profits.

In the paper industry today, the implementation of maintenance methods is as fundamental as in any other plant, especially due to the conditions that are generated given the characteristics of the process. Paper industries are essential today, due to the high demand for paper that continues to be vital in everyday life. Toilet paper is undoubtedly one of the most necessary elements to produce.

The manufacturing process of this brings effects that impact its environment given the chemical characteristics that make up toilet paper, where the main affected by this effect are the machines themselves that operate to process this product. The paper dust released during the process has created a problem in the conditions of the machines due to its accumulation and adhesion on the surfaces of these, causing a tendency to accelerate failure due to the increase in temperatures it generates and the need to clean the accumulation of this dust. This has led to the problem of unscheduled stops to intervene in the problem, which generates unexpected economic losses in production. This creates the need to find a solution that can mitigate the effects of the accumulation.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
I. RESUMEN.....	3
II.- INTRODUCCION.....	8
III.- OBJETIVOS.....	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
CAPITULO 1: EVOLUCION DEL PAPEL Y LA INDUSTRIA FPC TISSUE.....	10
1.1.- HITOS EN LA HISTORIA DEL PAPEL	11
1.1.1.- Inicios del papel	11
1.1.2.- Evolución del papel a través del tiempo	12
1.1.3.- La importancia del papel en la actualidad	15
1.1.4.- Impactos de la generación de papel para el mundo	15
1.2.- EL PAPEL TISSUE.....	18
1.2.1.- ¿Que es el papel Tissue?	18
1.2.2.- Historia del papel Tissue	19
1.2.3.- Características del papel Tissue	21
1.3.- LA INDUSTRIA FPC TISSUE	21
1.3.1.- Breve Historia	21
1.3.2.- Servicios de FPC Tissue	22
1.3.3.- Negocio estratégico	23
1.3.4.- Sellos de la empresa	23
1.3.5.- Relevancia de productos propios en el mercado	24
1.4.- PROCESO DE FABRICACION DE PAPEL TISSUE EN LA PLANTA.....	25
1.4.1.- Descripción del proceso de fabricación	25
1.4.2.- Esquema general del proceso de fabricación de papel tissue	26
CAPITULO 2: IMPACTO DEL POLVO DE PAPEL EN LAS MAQUINAS DEL AREA DE CONVERSION.....	29
2.1.- EL POLVO DE PAPEL DESPRENDIDO DEL PROCESO.....	30
2.1.1.- ¿Por qué se genera polvo en el proceso del papel Tissue?	30
2.1.2.- Problemática del polvo de papel en equipos rotativos del área de conversión	31

2.1.3.-	Efectos perjudiciales en las maquinas por la acumulación de polvo	31
2.1.4.-	Diagrama de bloques del área de conversión	33
2.2.-	CONSECUENCIAS DERIVADAS A LA SALUD	36
2.2.1.-	Enfermedades causadas por la exposición al polvo de papel	36
2.2.2.-	Organismo regulador de riesgos de sustancias COSHH	38
2.3.-	MÉTODO DE MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA EMPRESA.....	39
2.3.1.-	El rol de las maquinas rotatorias en la línea de la cursadora	39
2.3.2.-	El mantenimiento preventivo como estrategia en la actualidad	40
2.4.-	FRECUENCIA DE PARADAS POR MANTENCIONES PROGRAMADAS Y NO PROGRAMADAS.....	41
2.4.1.-	Registros de paradas realizadas en área de maquina cursadora	41
2.4.2.-	Fallas más recurrentes en las áreas de maquina cursadora.	42
2.4.3.-	Diagrama de Pareto de fallas.	43
CAPITULO 3: PROPUESTA DE SOLUCION PARA MITIGACION DE POLVO EN AREAS DE MAQUINA CURSADORA		46
3.1.-	COLECTORES DE POLVO	47
3.1.1.-	¿Qué es un colector de polvo?	47
3.1.2.-	Relevancia de los colectores de polvo en la industria.	47
3.2.-	VENTILADOR DE CONTROL POLVO COMO PROPUESTA DE SOLUCION	51
3.2.1.-	¿Por qué montar sistema de ventilación como solución?	51
3.2.2.-	Argumento	51
3.2.3.-	Justificación	53
3.3.-	SOLUCION A PARA EL CONTROL DE POLVO	53
3.3.1.-	El ventilador “Circulaire Fan” de Luwa	53
3.3.2.-	Ventajas del Circulaire Fan	54
3.3.3.-	Recomendaciones de mantención del fabricante	55
3.3.4.-	Instalación del equipo.	56
3.3.5.-	Utilidad del equipo sobre el área de cursadora	56
3.3.6.-	Datos Técnicos	57
3.4.-	SOLUCION B: EXTRACTOR DE POLVO MOVIL	58
3.4.1.-	Extractores de polvo móviles como solución	58
3.4.2.-	Extractor de polvo móvil X-CALIBUR UB-201	60
3.4.3.-	Características del colector X-Calibur UB-201	61

3.4.4.-	Aplicaciones y consideraciones importantes	62
3.4.5.-	Especificaciones técnicas.	62
3.4.6.-	Valorización	63
3.5.-	SOLUCION C PARA EL CONTROL DE POLVO.....	63
3.5.1.-	El colector de polvo industrial Gold Series X-Flo (GSX)	63
3.5.2.-	Características del colector X-Flo	65
3.5.3.-	Valorización	65
3.6.	COMPARATIVA DE SOLUCIONES PROPUESTAS.....	66
3.6.1.-	Solución recomendada	68
CAPITULO 4:	ANALISIS DE IMPACTO EN LA PRODUCCION	69
4.1.-	INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD	70
4.1.1.-	¿Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad?	70
4.1.2.-	¿Qué es la confiabilidad en los equipos?	70
4.1.3.-	Breve historia de la confiabilidad.	71
4.1.4.-	Criterios de probabilidad de falla.	72
4.1.5.-	¿Que es la disponibilidad de los equipos?	73
4.1.6.-	Cálculo de la tasa de disponibilidad.	74
4.1.7.-	Aplicación de cálculo de disponibilidad para equipos rotativos.	75
4.1.8.-	Observación	78
4.2.-	PRODUCCION DE LA CURSADORA PARA RETORNO DE INVERSION....	78
4.2.1.-	Producción de papel de la planta y la línea cursadora	78
4.3.-	EVALUACIÓN DE COSTOS ASOCIADOS.....	79
4.3.1.-	Ganancias de producción	79
4.3.2.-	Costo de inversión de solución propuesta.	81
4.4.-	ANALISIS	82
4.4.1.-	Costo de producción perdida por paradas inesperadas.	82
5.-	CONCLUSION	84
6.-	BIBLIOGRAFIA	86

II.- INTRODUCCION

La fabricación de papel Tissue en la zona de conversión dentro de sus instalaciones, durante el funcionamiento de las cintas de desenrollado y en cada punto de recorte del papel se genera polvo. Este polvo causado por la posición de corte de las cuchillas se desprende por el aire en forma húmeda y seca acumulándose como resultado sobre las maquinas más cercanas que componen los procesos de la línea. La capa de polvo cubre la superficie de estas máquinas afectando sus condiciones externas.

Producto de esto, una de las estrategias de mantenimiento adoptadas por FPC Tissue para tratar este problema es el mantenimiento preventivo (MP), donde a través de la contratación de personal tanto externo como interno, se realiza una detención periódica de estas máquinas para que personal Acceda a la limpieza e inspección de las maquinas expuestas al polvo acumulado. Las principales maquinas afectadas en el área de la cortadora por el polvo son los motores eléctricos.

La constante acumulación de polvo de papel tissue ha hecho que aumente las cantidades de paradas inesperadas en las maquinas rotatorias del área de conversión, lo que significa una problemática para sus efectos en la maquinaria y el ambiente.

Por tanto, intervenciones por mantenimiento preventivo para el reacondicionamiento de estas máquinas generan un costo monetario adicional para mantener la línea operativa en condiciones aceptables. La frecuencia de estas paradas no deseadas se han producido únicamente por reacondicionar las maquinas del polvo en exceso. Por otro lado, el impacto que genera esta condición en las maquinas es que ciertos factores físicos en ellas se ven afectados, como lo son la temperatura, lo cual a mediano plazo podría conducir a la decadencia de su rendimiento en operación.

III.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de pre-factibilidad para la implementación de un sistema de extracción de polvo de papel para el área de conversión en la empresa FPC Tissue.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Revisión de las distintas tecnologías de extracción de polvo en la industria papelera.
- Realizar un estudio de las fallas en el área de conversión.
- Estudio de los impactos económicos, ambientales y de salud del polvo en el área de conversión.

CAPITULO 1: EVOLUCION DEL PAPEL Y LA INDUSTRIA FPC TISSUE

1.1.- HITOS EN LA HISTORIA DEL PAPEL

1.1.1.- Inicios del papel

Los orígenes del papel como tal se remontan a la antigua China hacia los periodos de la dinastía Han. donde fue inventado alrededor del año 105 d.C.

Antes de la invención del papel, los chinos escribían sobre seda y fragmentos de bambú. También utilizaban tiras de madera o bambú con una punta rígida, pero estos materiales no eran prácticos para escribir ni para archivar.

La creación de papel se le atribuye a Ts'ai Lun, quien en ese entonces era un funcionario de la corte imperial. Quien utilizo residuos textiles como materia prima para fabricar papel.

No se tiene en claro bajo que contexto Lun llego a dar con esta creación. Para entonces los chinos inicialmente comenzaron a fabricar el papel utilizando una ingeniosa técnica a partir de residuos de tela, cáñamo, seda o corteza de árbol, viejos retales y redes de pesca. Para fabricarlo, se remojabán y prensaban las fibras vegetales (usualmente solían utilizar el bambú), y luego se secaban en hojas sobre bastidores o pantallas de madera.

El papel se utilizaba para muchas cosas en la antigua China, como libros, papel de escribir, mapas, dinero, embalajes, sombreros y pantallas. Era un producto valioso y por eso se utilizaba para pagar impuestos y tributos.

Los chinos mantuvieron en secreto el proceso de fabricación del papel durante muchos siglos. Hasta más tarde cuando la enseñanza de la técnica se extendió por Japón y Asia Central en el siglo VII.



Fig.1.1 Fabricación de papel en la antigua China en sus inicios



Fig. 1.2 Retrato de a Ts'ai Lun, creador del papel durante la

1.1.2.- Evolución del papel a través del tiempo

Como ya lo mencionábamos anteriormente, la evolución de papel permitió a los chinos reemplazar los viejos métodos de escritura, permitiéndoles un método más económico y accesible para escribir, reemplazando materiales como el bambú y la seda.

Durante el siglo VII los japoneses y Asia central compartieron esta técnica para la elaboración de sus escrituras.

Mas adelante, a mediados del siglo VIII en Oriente medio, los árabes pudieron aprender el arte de fabricación del papel después de capturar prisioneros chinos en la Batalla de Talas (751 d.C.), quienes les enseñaron el oficio. A este tradicional proceso de fabricación los árabes añadieron mejoras como el uso de lino y algodón. Las ciudades de Samarcanda y Bagdad se convirtieron en centros de producción de papel, el papel facilitó el auge cultural y científico en el mundo islámico.

No fue hasta algunos siglos más tarde, durante el siglo XII que el papel llegaría a Europa, Los primeros molinos de papel se establecieron en España, específicamente en Játiva, Valencia. Donde los españoles continuaban utilizando como materias primas el algodón y lino. Pero con la diferencia que implementaron una técnica mejorada al utilizar molinos

hidráulicos para triturar los materiales, lo que aportaba una eficiencia mayor en la producción de la pasta y mejorada en su calidad.

El Impacto cultural que esto significo para el país permitió la expansión de los manuscritos y, posteriormente, la impresión de libros.

Un hecho relevante en la historia y desarrollo del papel en el tiempo llego en el siglo XV en Alemania, en el año 1440. Cuando finalmente se inventa la imprenta por el orfebre alemán Johannes Gutenberg (1450) perfeccionó la imprenta de tipos móviles de metal. que permitieron desarrollar el libro moderno. Su invento sería clave para la alfabetización y difusión de conocimientos en Europa. Lo que genero un impacto mucho mayor para la literatura y esto provoco un aumento en la demanda de papel significativamente debido a la producción masiva de libros. En cuanto a la producción de papel debido a este hecho, se perfeccionaron los molinos de papel y los métodos de prensado.



Fig.1.3 Johannes Gutenberg,
año 1950

La literatura y la producción de libros tomo un rumbo significativo en el mundo para entonces, el papel era altamente demandado principalmente por la influencia de la difusión de conocimiento en la literatura.

Mas tarde, la revolución industrial entre el siglo XVIII y el siglo XIX. Permitieron mejoras avanzadas en la fabricación de papel y la aparición de nuevos productos que comenzarían a surgir significancia en nuestra vida cotidiana. En 1803 la Maquina de Fourdrinier

permitió la producción continua de papel en rollos largos. En la década de 1840 se reemplazó el algodón y el lino como materias primas. Debido a que Friedrich Gottlob Keller descubrió como fabricar papel a partir de pulpa de madera.



Fig. 1.4 Sección de secado de una antigua máquina de fabricación de papel tipo Fourdrinier

Entonces la producción en masa comenzaba a dispararse y la fabricación de papel se industrializó, reduciendo los costos y aumentando la disponibilidad.

Luego a principios del siglo XX entrando a la era moderna, los avances tecnológicos eran continuos, automatización de fábricas, reciclajes de papel y blanqueo sin cloro. Aumento el reciclaje del papel y el uso de fuentes sostenibles de madera.

También comenzaron a aparecer nuevos materiales como lo son los papeles especiales para fotografía, embalaje y usos industriales.

En la actualidad, con la era digital ha disminuido el uso del papel en algunos sectores, ha habido un mayor desarrollo de papeles reciclables, biodegradables y con funciones electrónicas, además de la aparición de certificaciones como FSC (Forest Stewardship Council) que garantizan una producción responsable.

Pero cabe destacar que el papel higiénico, que es del cual más nos centraremos, ha tomado un rol fundamental que la digitalización hoy en día no ha podido reemplazar a diferencia de otros tipos de papeles.

Al contrario, la demanda o necesidad de este tipo de papel es cada vez mayor. Lo que hace que las industrias papeleras aumenten su necesidad de producir mayores cantidades de papel de este tipo. He aquí que aparecen variantes relevantes de nuestro interés como lo es el papel Tissue, un tipo de papel utilizado para la fabricación de papel higiénico y que debido a últimos acontecimientos globales y tendencias, se ha demostrado que tenemos una tendencia de necesidad cada vez mayor de este producto.

1.1.3.- La importancia del papel en la actualidad

El papel se ha convertido en uno de los elementos más necesarios de nuestra vida cotidiana y laboral. Ha sido uno de los elementos que más a aportado a aportado a la evolución.

Uno de los usos más evidentes y tradicionales es como soporte para la escritura y la impresión. Aunque las pantallas digitales han ganado terreno en la comunicación y el almacenamiento de información, el papel sigue siendo insustituible en situaciones donde se valora la tangibilidad y la permanencia de la información.

El papel ha sido fundamental en la transmisión y masificación del conocimiento, sobre todo en los últimos seis siglos, y también ha sido clave en las comunicaciones y en las actividades administrativas hasta hace pocas décadas, cuando empezó a sufrir la competencia de los medios digitales.

1.1.4.- Impactos de la generación de papel para el mundo

Sin embargo, la producción de papel tiene un impacto ambiental significativo, ya que requiere grandes cantidades de agua y energía, y genera residuos contaminantes. Para

reducir su impacto ambiental, se puede reciclar el papel, ya que por cada tonelada de papel reciclado se salvan un promedio de 18 árboles.

Se estima por medio de análisis realizados por estadísticos que el 40 % de la madera que se tala en el mundo está destinada a la producción de papel.

En muchas regiones del mundo, el uso del peróxido de hidrógeno, cloro y otras sustancias químicas que son parte de la industria papeleras, son las que finalmente terminan contaminando suelos y aguas, y que vienen siendo parte de los componentes esenciales que están presentes en los procesos de fabricación del papel ya sea del tipo destinado a la literatura o al tipo de papel higiénico y similares.

Sin embargo, se tiene en claro que el papel se ha convertido en un elemento esencial para la comunicación humana. A lo largo de la historia, ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo de la escritura, la imprenta, la educación, la ciencia, el arte y la cultura, lo que lo convierte en uno de los inventos más importantes de la historia de la humanidad.

El papel ha adquirido protagonismo por ser una alternativa sustentable, ya que se obtiene a partir de materias primas renovables, es altamente reciclado y biodegradable.

Existen más de 100 tipos de papeles, que pueden ser utilizados para diversos fines, como para la impresión de libros y materiales gráficos, empaques, para uso sanitario y muchos más.

Además de la celulosa, que como detallaremos más adelante, es la fibra procedente de la madera con la que se fabrica el papel, básicamente hay cuatro grandes grupos de productos papeleros.

- **Papeles gráficos:** Es el tipo de papel que es utilizado para la generación de periódicos, prensa, edición de libros, folios, carpetas, cuadernos.
- **Papeles para envases y embalajes:** Son los cuales se fabrican para para las cajas de cartón ondulado, estucado, bolsas, sacos.

- **Papeles higiénicos y sanitarios:** Como bien dice su nombre, principalmente se refiere al papel higiénico, toallitas, servilletas, pañuelos, entre otros. Mas adelante profundizaremos más respecto a este tipo de papel dado el contexto del objetivo general.
- **Papeles especiales:** Entre muchos otros podemos hacer mención a los papeles de seguridad, decorativo, autoadhesivo, metalizado, papel filtro.

Según un estudio de balance realizado en el año 2014, se estima que el consumo mundial promedio de papel por persona es de 48 kg. Anuales. Lo cual dado la importancia y necesidad que el papel tanto del tipo higiénico como de literatura se espera que las cifras sigan aumentando, a pesar de que en las últimas décadas la digitalización y el impacto medioambiental que genera ha aportado a la disminución de generación de papel, a pesar de que esto no evidencia aun un cambio significativo en el consumo de papel en la actualidad.

En el siguiente grafico podemos apreciar una representación ilustrada del consumo de papel y de cartón en la población mundial en millones de toneladas métricas entre los años 2007 y 2018, donde podemos apreciar una tendencia al aumento del consumo de este en los últimos años. Según fuente de sitio Statista.com que puede consultar en la sección Linkografía.

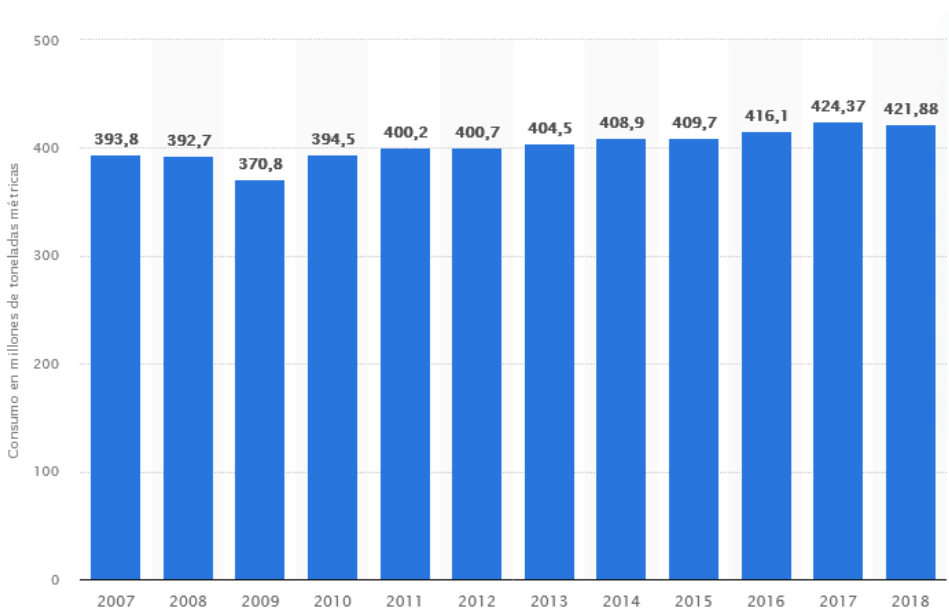


Fig. 1.5 Gráfico de consumo de papel y cartón periodo 2007-2018

1.2.- EL PAPEL TISSUE

1.2.1.- ¿Que es el papel Tissue?

El papel tissue es un tipo de papel de uso doméstico y sanitario que se fabrica a partir de celulosa de pulpa química o quimio termo-mecánica.

Es un papel delgado y crepado, muy absorbente. Se destina a la fabricación de papel higiénico, toallas, servilletas, pañuelos, rollos de cocina, faciales, sabanillas para clínicas y hospitales, y papeles para dispensadores.

Los papeles tissue son fabricados en base a fibra virgen o a fibra de papel reciclado o a una mezcla de ambos, y se utilizan en productos de higiene personal (papel higiénico, pañales, pañuelos), en el ámbito doméstico (rollos de papel de cocina, servilletas, toallas

de papel para limpieza) y como material sanitario y de limpieza industrial. El papel tissue es también uno de los insumos principales para la fabricación de toallas higiénicas femeninas, protectores diarios y pañales en general.

1.2.2.- Historia del papel Tissue

El papel tissue se originó como una alternativa desechable a los pañuelos y toallas de tela, que se usaban y propagaban enfermedades.

En 1857, el estadounidense Joseph C. Gayetty presento al mercado lo que él denominó Papel Medicado Gayetty, el cual lo presento como un artículo para la higiene Así nació el moderno papel higiénico, que en aquel entonces consistía en hojas de papel Manila sin blanquear, marcadas al agua con el apellido del inventor, básicamente se trataba de láminas de papel humedecido con aloe. Sin embargo, el éxito comercial no acompañó a aquella iniciativa, y el papel higiénico de Gayetty tuvo una precaria venta.

Mas tarde en Inglaterra, el fabricante Walter Alcock intentó lanzar su propio papel higiénico en 1879, pero esta vez en vez de fabricarlo en hojas sueltas lo hizo en rollos de hojas separadas por líneas de perforación para ser arrancadas. Sin embargo, su iniciativa chocó con el puritanismo inglés de la época, al que no le parecía conveniente ver semejante producto en los estantes de las tiendas.

Los fallidos intentos de Gayetty y Alcock fueron, finalmente, superados por los hermanos estadounidenses Edward y Clarence Scott, quienes, merced a una agresiva y eficaz campaña publicitaria, se llevaron el honor de obtener el triunfo comercial de los rollos de papel higiénico, introduciendo al mercado una marca que aún hoy se comercializa activamente.

Al papel higiénico que crearan Gayetty, Alcock y los hermanos Scott, hoy se agregan diversos productos bajo el genérico Papel Tissue: servilletas de papel, pañuelos desechables, toallas higiénicas, toallas de papel y, por supuesto, el papel higiénico.

En 1891, Seth Wheeler patentó el papel higiénico en rollo y perforado. En 1877 fundó la Albany Perforated Wrapping Paper Company. En 1897, la compañía empezó a vender y comercializar papel higiénico perforado estándar en rollo.

Ya para 1921 la marca Waldorf, de Scott paper company, representaba el 64% de las ventas totales de cajas de Scott. La empresa se convirtió en la principal compañía de papel higiénico del mundo.

En 1942 el papel higiénico se suaviza, la fábrica de papel de St. Andrew en Inglaterra comenzó a vender el primer papel higiénico de dos capas. Hoy en día este tipo de papel de baño de dos capas es el estándar en muchos países.



Fig 1.6 Rollo de papel higiénico de marca Waldorf

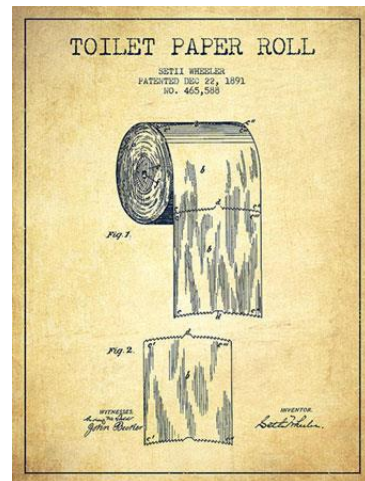


Fig. 1.7 Patente del rollo de papel higiénico por S. Wheeler, 1891.

1.2.3.- Características del papel Tissue

El papel tissue es claramente un tipo de papel característico que dado su uso especialmente para la higiene de los consumidores, pose las características que se mencionan a continuación.

- Es suave y se asemeja a la tela
- Es muy absorbente gracias a su textura arrugada, conocida como crepado, que permite que las fibras estén más abiertas y retengan más humedad.
- Resulta ser resistente al rasgado.
- El papel tissue es de bajo gramaje.
- Este compuesto principalmente de fibras naturales, de pasta química virgen o reciclada.
- Se puede conseguir en color blanco o de diferentes colores.
- Se puede usar para múltiples fines, como elaborar toallas, pañuelos, servilletas, como artículo de limpieza, para envolver productos o para limpiar encimeras.

1.3.- LA INDUSTRIA FPC TISSUE

1.3.1.- Breve Historia

La fábrica papelera FPC Tissue nace en el año 2016 en Chile, en la localidad de Coronel (VIII región) para dedicarse a la fabricación y comercialización tanto de bobinas de papel como de producto convertido (papel higiénico y toalla de papel) con una producción de papel de alta calidad utilizando tecnología NTT única en Sudamérica, que les permite

hacer papel estructurado, de mayor suavidad y calibre que la tecnología convencional utilizando siempre fibra 100% virgen.

Desde las estadísticas de metas iniciales hasta la actualidad, se ha mantenido como indicador general que la planta papelera lleva teniendo una producción total de aproximadamente 77.000 toneladas de papel tissue al año, a partir fibras largas (pino) y cortas (eucaliptus) de celulosa virgen.



Fig. 1.8 Planta FPC Tissue en Coronel, Chile
(vista superior)

1.3.2.- Servicios de FPC Tissue

En la actualidad FPC TISSUE es un actor activo en la venta de Bobinas de papel tanto en el mercado nacional como internacional, llegando a países en los 5 continentes. De manera paralela la compañía trabaja intensamente en marcas de consumo con dos marcas propias: Swan y Mi hogar tanto para papel higiénico como toalla de papel y también es un actor relevante en el desarrollo de marcas de terceros.



Fig. 1.9 Gama de productos de marca Swan

1.3.3.- Negocio estratégico

Como negocio estratégico, para la empresa FPC Tissue el negocio de bobinas resulta ser un pilar fundamental para la venta de sus productos y su rentabilidad. A lo largo de los años que llevamos en el mercado han creado relaciones comerciales tanto en el mercado nacional como internacional, buscando siempre aportar valor, entendimiento del negocio y calidad en cada uno de sus productos.

1.3.4.- Sellos de la empresa

La empresa se ha mantenido renovando sus tecnologías y creciendo en torno a la calidad de sus servicios, por ende, es que FPC Tissue presenta los siguientes sellos como empresa industrial

Compromiso con elaborar producto de calidad superior y desarrollar relaciones comerciales de largo plazo con nuestros clientes.

Flexibilidad al adaptarse a las distintas necesidades del mercado, de manera rápida y eficaz.

Tecnología; ya que cuentan con una maquina papelera con tecnología NTT única en Sudamérica que les permite fabricar papel estructurado, de mayor suavidad y calibre que la tecnología convencional.

Calidad; debido a que sus productos son elaborados con celulosa 100% virgen, lo que permite tener un producto de mayor suavidad y blancura.



Fig.1.10 Bobina de papel Tissue en la planta de FPC Tissue

1.3.5.- Relevancia de productos propios en el mercado

Como se mencionó anteriormente, FPC TISSUE produce, comercializa y distribuye en Chile marcas como Swan y Mi hogar, tanto en papel higiénico como en toalla de papel, en hoja simple y en doble hoja, en segmentos de bajo y alto metraje, en formatos pequeños como grandes, abarcando todos los segmentos de consumo.

Además de ello es un actor relevante también en el mercado de marcas de terceros. Hoy estamos presentes en los principales retailers del país, donde los niveles de calidad en cada uno de nuestros productos y del servicio nos han permitido obtener a lo largo del tiempo una importante fidelización con cada uno de nuestros socios comerciales.

Se han ido especializando en la venta de bobinas a empresas convertidoras de papel tanto del mercado nacional como internacional de los cinco continentes, buscando aportar valor y calidad en sus productos. Ampliando sus redes de negocios por todo el mundo.

1.4.- PROCESO DE FABRICACION DE PAPEL TISSUE EN LA PLANTA

1.4.1.- Descripción del proceso de fabricación

FPC Tissue fabrica papel Tissue utilizando celulosa virgen y tecnología de punta. El proceso de fabricación del papel Tissue es similar al del papel, pero se presta especial atención para lograr la suavidad y el grosor adecuados.

El papel Tissue se elabora en una maquina papelera especial. El cilindro está rodeado de dos tapas de secado en las que el papel es secado en centésimas de segundo a una temperatura de 460°C. Los papeles Tissue son fabricados a partir de fibra virgen, fibra de papel reciclado o una mezcla de ambos.

Las etapas que forman parte de la fabricación del papel Tissue son principalmente descritas a continuación.

Obtención de la pulpa: o específicamente hablando se trata de la celulosa de pulpa, utilizada como la materia prima para la fabricación de papel Tissue. Este material se obtiene a partir de fibras de madera o materiales reciclados.

Prensado: Luego de obtener la fibra. Mediante procesos químicos, se transforman en pasta. Una vez realizado aquello la pasta se tiene que lavar, filtrar y secar. Esto es para blanquearla hasta obtener el tono deseado de la hoja de papel. A lo que se le llama proceso de Blanqueado.

Para obtener el grosor del papel que se desea, la pasta se prensa con unos rodillos. El papel se pasa a través de unos rodillos calientes para eliminar todo rastro de agua, para después finalmente pasar el papel por unos rodillos fríos para darle el acabado que debe llevar.

La velocidad del rodillo se ajusta según el requisito para obtener papel tisú más fino o más grueso.

Conversión: En esta etapa los rollos de tejido se mueven a través de capas y los papeles son tallados con el diseño predeterminado. Las puertas de papel se suavizan para darle una contextura lisa al tacto y adecuadas para su uso. Luego se cortan los papeles en la dimensión requerida a través de las cuchillas de la maquina cortadora. Después se realizan las estampaciones y marcajes correspondientes al producto para luego finalmente ser envasado con el envoltorio generalmente de plástico en paquetes en las cantidades requeridas.

Como parte del proceso final de conversión, una vez los paquetes están sellados, una maquina se encarga de agrupar una cierta cantidad de estos productos en pilares y sellarlos para su posterior despacho hacia la bodega. A este proceso se le llama paletizado.



Fig. 1.11 Rollos de papel en área de conversión luego de la maquina cortadora

1.4.2.- Esquema general del proceso de fabricación de papel tissue

Como podemos apreciar en la figura siguiente, se ilustra de manera mas representativa el proceso de fabricacion del papel higienico o papel Tissue que es tratado desde la obtencion

de la celulosa de la pulpa, pasando por el proceso de trituración de la madera. Hasta haber obtenido la pasta deseada luego de la mezcla de químicos. El tratamiento de esta pasta como vemos en el punto 5 en la imagen es para quitarle cualquier impureza que pueda tener, donde después es sometida al proceso de blanqueamiento de la pasta (punto 4), llevándola luego a la fase donde la máquina Tissue, en nuestro caso conocida como máquina Yankee, molda la pasta a través de sus rodillos gigantes para darle el grosor y la forma requerida pasando a variadas temperaturas para efectos de formación y secado como se observa en el punto 6 de la imagen, hasta finalmente formar la lámina de papel final que es rebobinada al final del proceso.

Es desde ese punto que la bobina de gran tamaño es llevada a la zona de conversión donde es procesada por las máquinas que se mencionan en la imagen detallada en el capítulo 2 “diagrama de bloques del área de conversión”.

Etapas generales del proceso de fabricación.

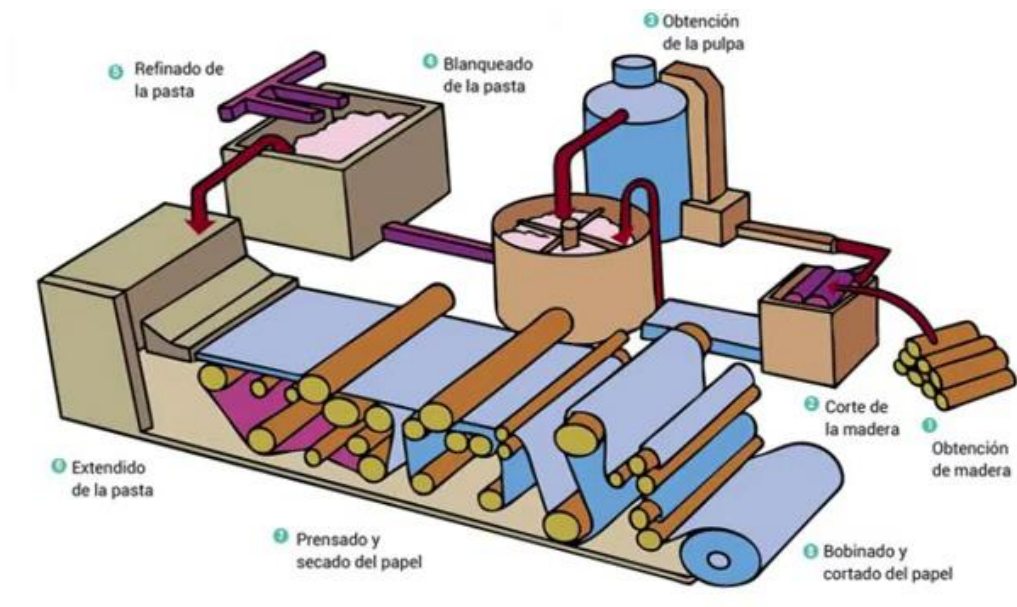


Fig. 1.12 Diagrama de proceso de prensado de papel tissue

**CAPITULO 2: IMPACTO DEL POLVO DE PAPEL EN LAS MAQUINAS DEL
AREA DE CONVERSION**

2.1.- EL POLVO DE PAPEL DESPRENDIDO DEL PROCESO

2.1.1.- ¿Por qué se genera polvo en el proceso del papel Tissue?

El polvo de papel tissue se genera en el proceso de fabricación por la presencia de pelusa en el aire y la contaminación de la banda de papel.

El papel tissue se produce a partir de pasta de papel virgen o reciclada, y se caracteriza por su suavidad, absorción y volumen. El proceso de fabricación incluye pasos como el crepado, el enrollado y el rebobinado, que generan grandes cantidades de polvo y pelusa.

El polvo se genera principalmente en las siguientes zonas:

- Cuchillas (crêping)
- Recorte de bordes
- Rodillo tensor
- Cintas de desenrollado
- Puntos de giro del papel
- Corte longitudinal

El polvo y la pelusa pueden quedar incrustados en la banda de papel o ser arrastrados por el aire, lo que puede: Disminuir la calidad del producto, Emitirse a la atmósfera, Provocar averías en la maquinaria, Disminuir la calidad de impresión en productos como las servilletas.

2.1.2.- Problemática del polvo de papel en equipos rotativos del área de conversión

Como se mencionó en el capítulo anterior, una de las etapas de la fabricación del papel Tissue es la etapa de conversión. Cuya etapa es donde las bobinas de papel que han pasado por la etapa de prensado en la maquina son cargadas y llevadas hasta la zona de conversión para que estas sean procesadas por las distintas etapas que convierten a esta bobina en pequeños rollos de papel higiénico que son recortados a la medida, envasados y distribuidos en paquetes finalmente para ser despachados como productos finales.

El problema tal como se mencionaba anteriormente es que en ciertas maquinas ubicadas en conversión generan polvo de papel al operar con el material, desprendiendo este polvo hacia la atmósfera. Cuyas partículas se mantienen suspendidas por el aire, propensas a caer por sobre las propias maquinas que generan la acción del proceso, acumulándose gran parte de este material sobre la superficie externa de estas máquinas.

2.1.3.- Efectos perjudiciales en las maquinas por la acumulación de polvo

El polvo que cae o que permanece suspendido en la ambiente resulta perjudicial para los diferentes equipos eléctricos y electrónicos. Estas partículas, que pueden estar compuestas por materia orgánica, gases, químicos, elementos metálicos, entre otros, se adhieren a los aparatos que sufren condensación, humedad, estática y otras condiciones no controladas. Cuando esto sucede, las consecuencias pueden ser negativas, lo que se traduce en mayores costos de mantenimiento y reemplazo. Entre sus efectos más frecuentes, podemos destacar algunos a continuación:

La acumulación continua de polvo sobre superficies y componentes internos disminuye la capacidad de refrigeración. Esto aumenta la temperatura interna, generando un calor que puede reducir considerablemente la vida útil del aparato.

Las partículas que se instalan por fuera y por dentro de los dispositivos electrónicos pueden cargarse de agua si la humedad en las instalaciones no está controlada. Con el tiempo, aparece la oxidación, la cual empieza a corroer los elementos metálicos, produciendo fallas y menor rendimiento.

La presencia de polvo que se aloja en equipos informáticos, pantallas y ventiladores, también afecta su funcionamiento. Esto es porque sirve como conductor de electricidad, lo que puede causar cortocircuitos y otras averías comunes. Además, la suciedad se instala en las partes móviles, afectando los engranajes y otros mecanismos necesarios para un desempeño óptimo.



Figura 2.1 Motor afectado por polvo



Fig. 2.2 Motor en posición vertical con polvo



Fig. 2.3 Motor afectado



Fig. 2.4 Integridad del ventilador afectado

Podemos observar en las imágenes algunos ejemplos de la condición de los motores que se encuentran expuestos a la acumulación de polvo por la superficie externa y al interior de estas, llegando incluso a afectar sistemas de ventilación. En el caso de la figura 2.4, podemos ver que el polvo al interior de la maquina se ha compactado adhiriéndose a la estructura interna, afectando el sistema de ventilación del motor.

2.1.4.- Diagrama de bloques del área de conversión

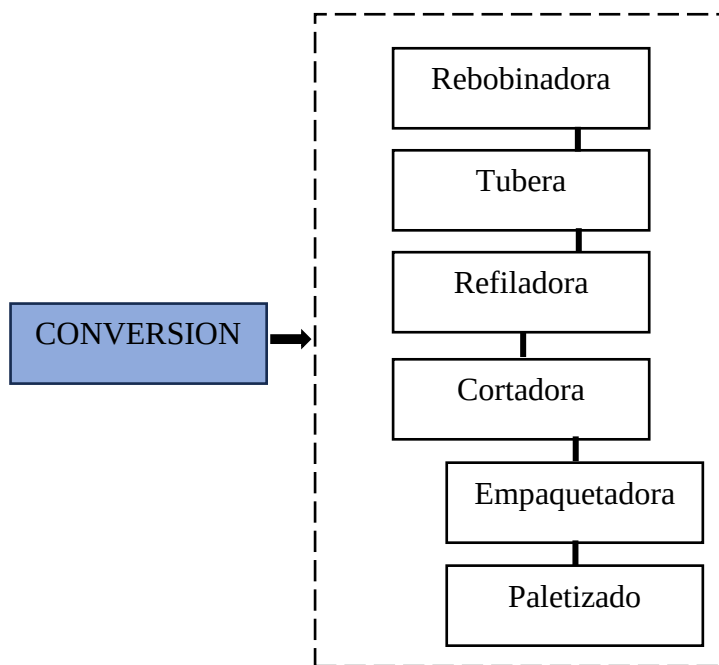


Fig. 2.5 Representación en bloque de área “conversión”

2.1.5.- Subáreas de la línea de proceso de maquina cursadora

Cuando anteriormente mencionábamos el área de conversión hacemos referencia a todo el proceso de diseño del producto final desde el “desenrollador” donde se instala la bobina de papel ya secada que es traída desde la maquina Yankee, hasta el área de “paletizado” donde se almacenan los pilares de mangas del producto final que almacena la línea.

Las mangas se les llama un grupo de paquetes que da la suma de 48 rollos de papel higiénico u derivado independiente de las unidades por paquete, es decir, si un producto final contiene 8 unidades (rollos de papel), una manga es un pack de 6 paquetes de la misma cantidad de unidades.

Mas adelante será relevante este término para entender la productividad que podemos estimar con estos paquetes.

Se le llamara cursadora, a cierta línea de proceso que está compuesta por sub áreas que están detalladas en la imagen siguiente. Nos centraremos en estas áreas específicamente debido a que son la zona de interés de la problemática a plantear.

Si bien podemos observar, entre estas áreas se encuentra la maquina “desenrollador” (a la izquierda de la imagen) y la maquina “cortadora” (a la derecha de la imagen).

Cabe observar que “el desenrollador” es la máquina que se encarga por medio del movimiento de un eje estirar el papel cuidadosamente por medio de cilindros para enviarlo al gofrador, en esta acción de desenrollado es cuando se genera una cantidad de polvo de fibras de papel que se desprenden debido a que el papel al ser estirado por la maquina aún conserva un pequeño porcentaje de humedad traído desde su tratamiento en el área de prensado, lo que genera que ciertas partículas de papel remojadas se desprendan fácilmente por su baja densidad. Mezclándose con la humedad del aire que la mantiene en suspenso hasta que desciende.

Del mismo modo, en el área de la maquina cortadora, la cual se encarga de realizar el corte a las bobinas de papel para obtener fracciones de rollos con las dimensiones correctas, al

momento de que las cuchillas cortan estas bobinas reiteradamente, se desprenden partículas de papel que quedan suspendidas por el aire e igualmente se mezclan con la humedad del ambiente, aumentando su densidad y cayendo sobre las superficie de las maquinas, y por efecto de esta humedad el material acumulado se condensa, generando un engrudo que con el tiempo se adhiere a los componentes, afectando zonas de la maquina como ejes movibles, zonas de ventilación o cables de conexión.

Si bien este polvo también está presente en las áreas centrales, los efectos son menores comparado a los mencionados y es debido mayormente al polvo suspendido en el aire que estos alcanzan a afectar estas zonas.

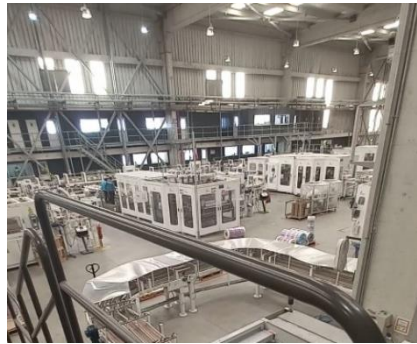


Fig.2.6 Vista general del área de cursadora

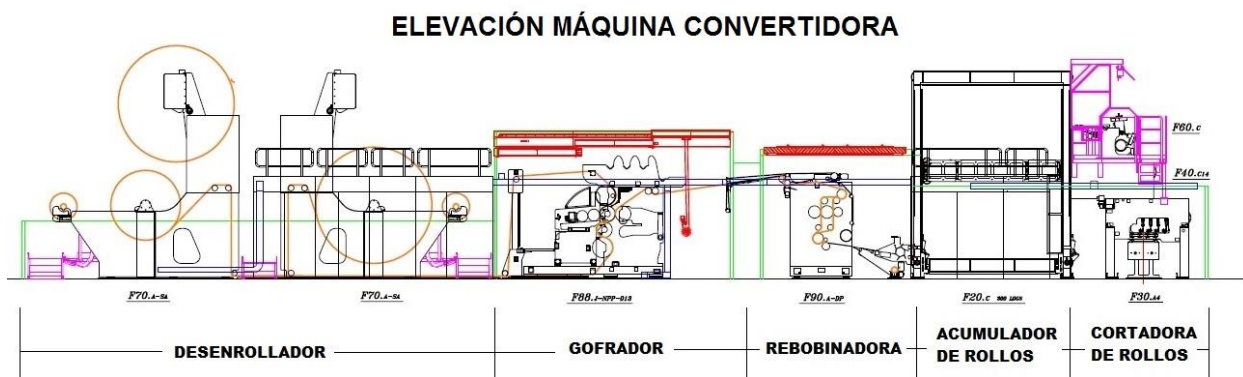


Fig. 2.7 Diagrama de ilustración de sub-áreas de la cursadora

2.2.- CONSECUENCIAS DERIVADAS A LA SALUD

2.2.1.- Enfermedades causadas por la exposición al polvo de papel

Como ya se ha explicado en el capítulo anterior, los procesos industriales que son parte del tratamiento de la elaboración del papel implican la generación de polvo fino que quedan suspendidos en el aire.

En concentraciones suficientemente altas, el polvo de papel y cartón es combustible. La única forma de mantener bajos los niveles de polvo es extraerlo directamente en el origen de esta. En muchas instalaciones solo se elimina el polvo de las máquinas, causando una concentración más alta en el aire, lo que puede causar una explosión de polvo.

Los trabajadores de las fábricas de papel suelen estar expuestos al polvo de papel. La exposición al polvo de celulosa, el material del que está hecho el papel higiénico, no produce enfermedades orgánicas significativas si se cumplen los límites de exposición permisibles.

Sin embargo, muchos estudios han demostrado que el nivel de exposición al polvo en las fábricas de papel ha superado los límites de exposición ocupacional (LEO) recomendados de 10 mg/m^3

La exposición a polvo de papel en cantidades superiores a 10 mg/m^3 durante un período de muchos años, es decir a largo plazo puede provocar enfermedades respiratorias obstructivas y restrictivas a sus empleados, como enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma y reducción de la función pulmonar (principalmente disminución del volumen espiratorio forzado en un segundo).

Estos polvos pueden provocar graves problemas respiratorios a sus empleados a lo largo del tiempo, incluyendo asma, bronquitis, reacciones alérgicas, conjuntivitis y disnea.

A pesar de que las vías respiratorias actúan como filtro frente a estas partículas para adherirse a ellas y neutralizarlas. Estas también pueden atravesar la tráquea y posteriormente llegar al pulmón.

La reacción de los pulmones frente al polvo va a depender del lugar en el que las partículas se establezcan. El polvo irritante que se queda en la nariz puede originar una rinitis o inflamación de la membrana mucosa. Si las partículas se dirigen a las vías respiratorias pueden producir una inflamación de la tráquea (traqueítis) o de los bronquios (bronquitis). Las reacciones más importantes del pulmón tienen lugar en las partes más profundas del mismo. La cantidad de polvo y las clases de partículas involucradas influyen en la gravedad de un posible daño en el pulmón.

En comparación, no hubo correlación entre la exposición al polvo de papel y el deterioro de la función pulmonar en dos estudios realizados a otras plantas papeleras con respecto a la exposición periódica al polvo de papel de los empleadores, de niveles de exposición más bajos ($\leq 5 \text{ mg/m}^3$)

En la sección de linkografía se puede encontrar el anexo a estos dos estudios realizados para una revisión más profunda (consultar enlaces 5 y 6).

Esto sugiere que el problema respiratorio está asociado con la cantidad de exposición al polvo.

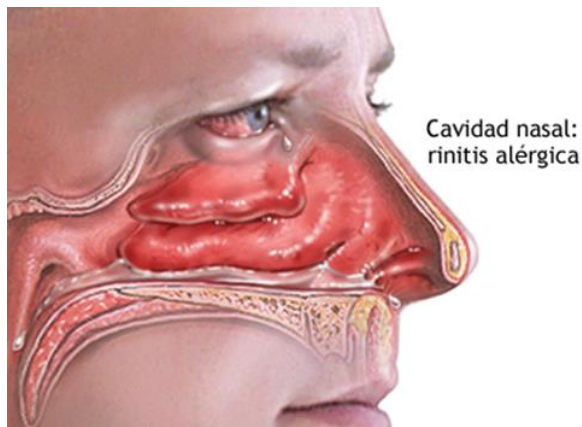


Fig. 2.8 Ilustración de los efectos de la rinitis alérgica en la cavidad nasal

2.2.2.- Organismo regulador de riesgos de sustancias COSHH

La metodología de evaluación de riesgos COSHH son las siglas de “Control of Substances Hazardous to Health”, que en español significa Reglamento de Control de Sustancias Peligrosas para la Salud. Desarrollada por Health and Safety Executive del Reino Unido.

Se trata de un conjunto de normas que protegen a los trabajadores de enfermedades causadas por el uso de sustancias y materiales específicos en el lugar de trabajo.

Las normas COSHH se aplican a la mayoría de las sustancias nocivas, pero el plomo y el amianto están cubiertos por normas independientes.

Esta norma internación busca principalmente que los trabajadores evalúen los riesgos de salud que pueden causar las sustancias químicas, decidan qué controles son necesarios y se aseguren de que los trabajadores los utilicen y estén informados de los riesgos asociados.

2.3.- MÉTODO DE MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA EMPRESA

2.3.1.- El rol de las maquinas rotatorias en la línea de la cursadora

Actualmente la empresa FPC Tissue implementa estrategias de mantenimiento de sus equipos que dependen tanto de la criticidad de estos como de la frecuencia de uso.

Específicamente en la línea de la cursadora, los principales equipos con mayor prioridad en su mantención son los motores eléctricos y los sensores, que componen las máquinas de las distintas subáreas de la cursadora.

Estos ejecutan las principales tareas para el funcionamiento de la máquina, y al ser una línea de producción en serie, es decir, que cada proceso al secuencial al otro para conseguir el producto final, la falla de alguno de estos componentes puede llevar a la detención inmediata de toda la línea o una parte importante de esta. Lo que conduce a pérdidas económicas y de producción por hora de falla no deseada.

Es por ende que, para garantizar un reacondicionamiento de estos equipos y estar siempre alerta de su condición expuesta es que, el departamento de mantenimiento determino que a las maquinas rotatorias de las subáreas de la cursadora se aplicara mantenimiento preventivo. Basado en el aseguramiento de la inspección, reacondicionamiento y limpieza de estos equipos críticos para el proceso. Utilizando contratación de personal externo para realizar estas labores.

En las imágenes se muestran maquinas rotatorias de las áreas de la cortadora y rebobinadora.

2.3.2.- El mantenimiento preventivo como estrategia en la actualidad

Si bien el mantenimiento preventivo actualmente es usado estratégicamente para aplicaciones que requieran acciones periódicas, sus ventajas y desventajas variaran según el contexto explícito.

En esencia como método se puede describir los siguientes puntos como las ventajas generales que ofrece el mantenimiento preventivo aplicado en una situación que sea realmente conveniente.

- Se tiene un mayor control del estatus de los equipos, ya que al realizarse constantemente se puede saber que equipos ya pueden comenzar a deteriorarse.
- Alarga la vida útil de los equipos, ya que reduce el riesgo de fallos.
- Al ser un mantenimiento programado, puede considerarse el tiempo necesario para detener la producción sin que haya muchas pérdidas.

El mantenimiento planificado se realiza para evitar el desgaste prematuro y las averías inesperadas. El mantenimiento preventivo se realiza de manera regular, incluso cuando el equipo está en buen estado, y busca identificar y abordar problemas potenciales antes de que se conviertan en situaciones costosas o peligrosas.

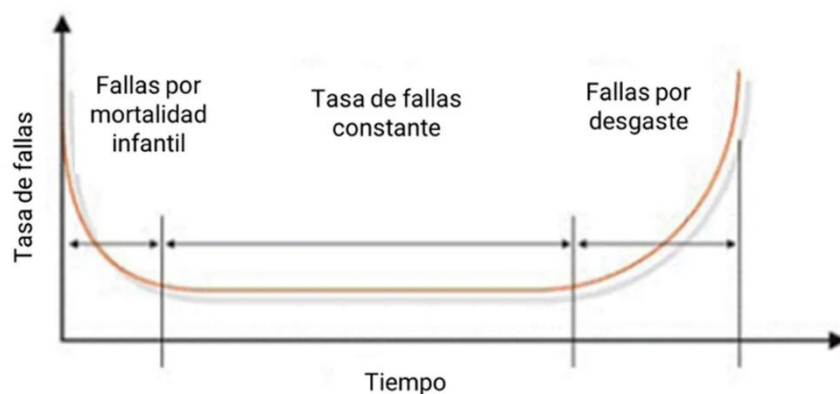


Fig. 2.9 Curva de la bañera

2.4.- FRECUENCIA DE PARADAS POR MANTENCIONES PROGRAMADAS Y NO PROGRAMADAS

2.4.1.- Registros de paradas realizadas en área de maquina cursadora

En la siguiente tabla se muestra un registro de detenciones por mantenimiento durante el primer semestre del año 2024 las cuales corresponden a paradas no deseadas que ocurrieron en ese lapso.

Las paradas no deseadas se deben a detenciones por acumulación excesiva de polvo de papel tissue sobre las maquinas rotatorias, sensores y otros equipos que se encuentran en las áreas de la cursadora. Si bien se tiene previsto que el polvo inevitablemente se acumula sobre la superficie de las máquinas de forma periódica. Irregularmente estas acumulaciones se dan a velocidades que llegan a afectar las áreas más rápido de lo que se prevé. Lo que obliga al personal a planificar una parada para inspección y limpieza de estos equipos.

También se detallan a modo de comparación el tiempo en que FPC Tissue por medio contratistas externos realizan paradas programadas específicamente para las labores de inspección y limpieza en las maquinas rotatorias de las subáreas de la cursadora que están planificadas en el programa del departamento de mantenimiento sin considerar las paradas no deseadas.

Mantenciones programadas para limpieza de máquinas = 6 mantenciones al año (cada 2 meses)

03-ene	Cursadora
09-feb	Cursadora
14-mar	Cursadora
10-abr	Cursadora
19-abr	Cursadora
24-abr	Cursadora
03-may	Cursadora
08-may	Cursadora
05-jul	Cursadora
06-sept	Cursadora

Fig.2.10 Paradas no programadas por limpieza de polvo enero-septiembre 2024

Como se puede observar, el programa ideal contempla una mantención periódica de inspección y limpieza a los motores eléctricos con un intervalo de tiempo de operación (MTBF) de 60 días o 1440 horas. Sin embargo, el registro revela que las paradas no programadas fueron más consecutivos durante el primer semestre del año 2024, habiendo tenido que intervenir la línea más horas de lo esperado para labores de limpieza en las maquinas rotatorias. Lo que marca una tendencia a como los efectos del excesivo polvo de papel en suspensión están afectando los tiempos de producción (MTTF) de las maquinas, lo que trae consigo consecuencias económicas en la producción y en la vida útil del equipo.

2.4.2.- Fallas más recurrentes en las áreas de maquina cursadora.

No se cuenta con más información sobre todos los tipos de fallas que se han presentado en las máquinas de las subáreas de la cursadora. Pero se conoce las causas más recurrentes que han afectado a las maquinas rotatorias de la cursadora según registros de informes de

mantención obtenidos durante el primer semestre del año 2024 por una empresa contratista de mantenimiento. Donde cabe mencionar que las principales causales de fallas se dieron por sobrecalentamiento, falla eléctrica, fuga de lubricante de aceite, y desgaste mecánico.

Por tanto, podemos observar en el diagrama de Pareto que, como resultado, la mayor cantidad de fallas en las maquinas rotatorias del área se generan debido a un sobrecalentamiento, detectado en inspecciones termográficas realizadas de forma periódica.

Esto quiere decir que un aumento de temperatura está afectando la condición ideal de operación de los motores, impactando en su integridad mecánica.

Se le atribuye a la acumulación de partículas de papel tissue como la responsable de este efecto, que al cubrir con materia la superficie de estas máquinas, obstruyen el paso a la ventilación del equipo, sobrecalentándolo por sobre los niveles permisibles. Además, el material húmedo que se compacta sobre la superficie impacta en el deterioro del equipo más rápidamente debido a la corrosión que genera en el material ferroso, afectando al diseño del equipo.

2.4.3.- Diagrama de Pareto de fallas.

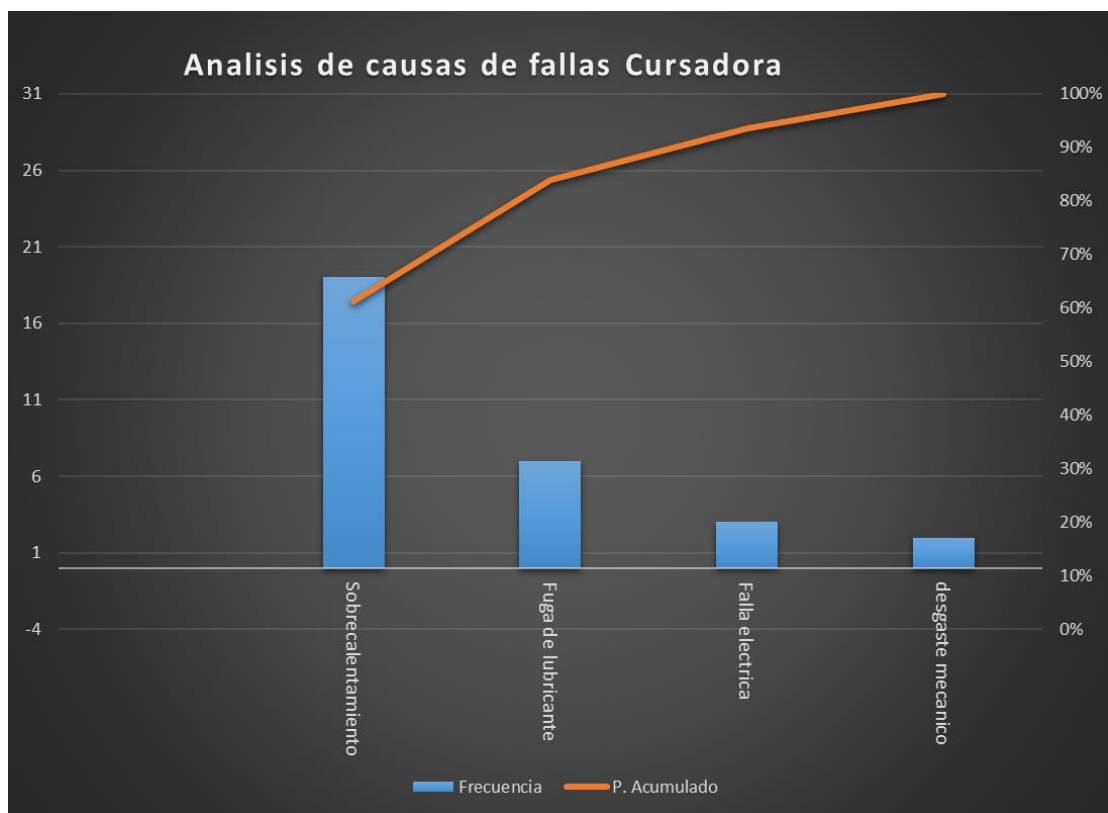


Fig. 2.11 Diagrama de Pareto de las fallas mas recurrentes registradas entre enero-junio 2024

2.5.- ANALISIS ISHIKAWA DE LOS EFECTOS DEL POLVO EN SUSPENSION

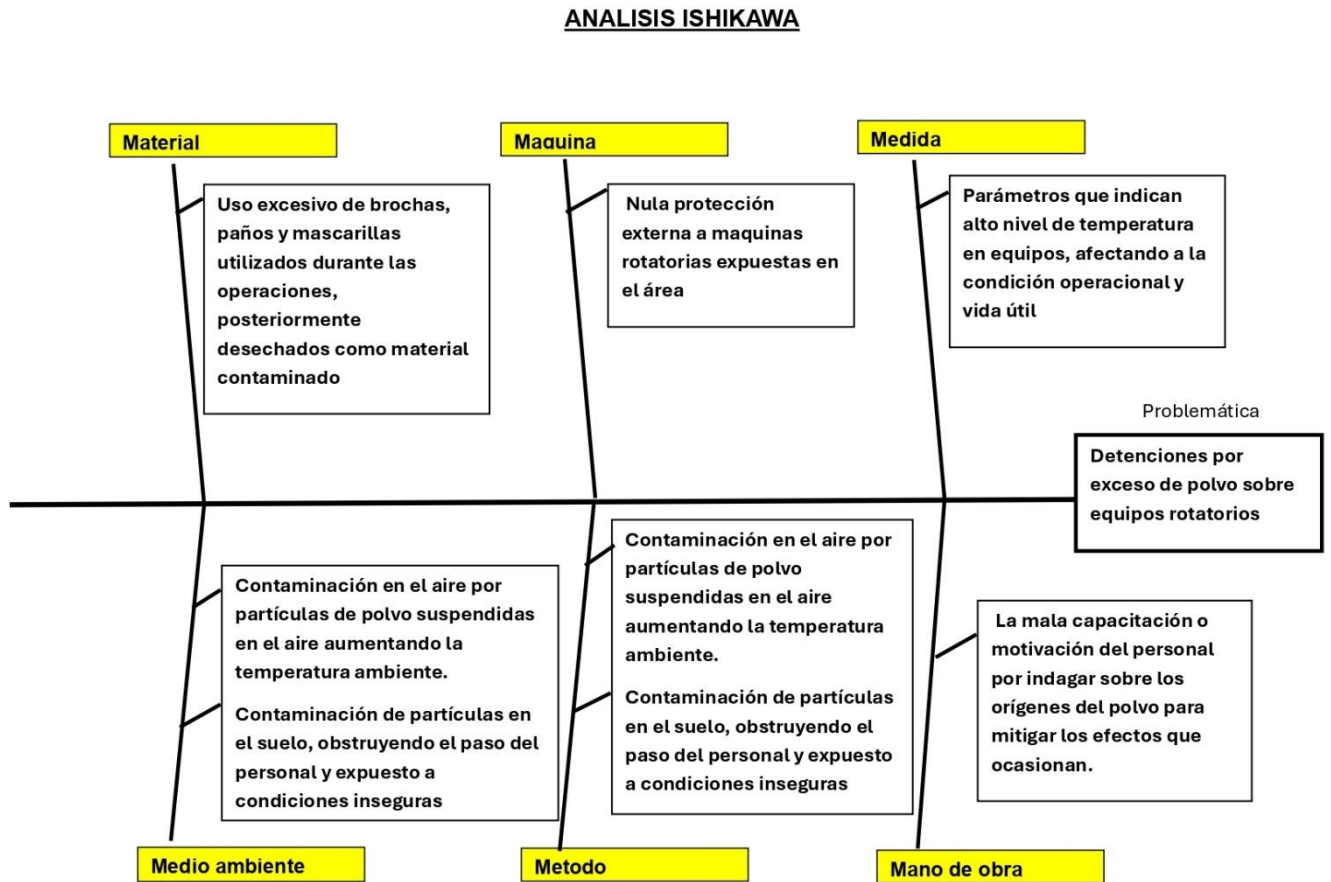


Fig. 2.12 Análisis de riesgo de las 6M sobre los efectos del polvo excesivo que ocasiona paradas no deseadas en la cursadora

CAPITULO 3: PROPUESTA DE SOLUCION PARA MITIGACION DE POLVO
EN AREAS DE MAQUINA CURSADORA

3.1.- COLECTORES DE POLVO

3.1.1.- ¿Qué es un colector de polvo?

Un colector de polvos es una máquina enfocada en la limpieza del aire, se usa principalmente para poder descargar el aire al ambiente después de un proceso industrial o comercial y que no dañe los ecosistemas. Trabaja reteniendo los polvos y otros contaminantes y sólo dejando pasar el aire para ser liberado al ambiente. Un sistema de colectores de polvo mejora la calidad del aire, removiendo partículas indeseables causadas por herramientas, máquinas y/o procesos productivos.

Los sistemas colectores de polvo consisten principalmente en máquinas que son compuestas por campanas de succión, ductos, accesorios, colector de Polvos, ventilador extractor y un sistema de descarga; el cual este puede ser rotatoria, helicoidal o válvulas de contrapeso.

3.1.2.- Relevancia de los colectores de polvo en la industria.

Desafortunadamente no todas las empresas están interesadas en regresar aire limpio y respirable a la atmósfera y el aire limpio se ha convertido en un lujo en muchos países y no todas las empresas se hacen responsables del daño que crean con sus procesos productivos al medio ambiente. La mejor forma en que las empresas pueden ayudar al medio ambiente es a través del uso de equipos que controlen la contaminación y restauren el agua y el aire que utilizan antes de descargarlo al medio ambiente, específicamente en el caso del aire las plantas de producción generan mucho polvo al cortar madera, plásticos y metal que afectan a sus trabajadores al ser respirados. Para evitar esa situación existen equipos especializados de control de polvo conocidos comúnmente como colector de polvos.

La eficacia de estos sistemas no solo mejora la calidad del aire, sino que también contribuye a la seguridad laboral. En entornos donde el polvo puede ser combustible, como en la industria de granos o químicos, los colectores de polvo reducen significativamente el riesgo de explosiones.

Además, al filtrar contaminantes nocivos, protegen la salud de los trabajadores y ayudan a las empresas a cumplir con regulaciones ambientales estrictas. La implementación de colectores de polvo es, por lo tanto, una inversión esencial en la infraestructura de cualquier industria que genere polvo significativo en sus procesos.



Fig. 2.12 Colector de polvo industrial de gran tamaño

3.1.3.- Normativa y regulaciones globales en colectores de polvo

- **ISO 14644-1**: Estándares de calidad del aire en salas limpias.
- **OSHA 1910.1000**: Límites de exposición a contaminantes aéreos.
- **EPA NESHAP**: Normas para emisiones peligrosas de aire.
- **Directiva ATEX de la UE**: Regulaciones para atmósferas explosivas.
- **Norma NFPA 654**: prevención de incendios en procesos de polvo.

3.1.4.- Beneficios de un colector de polvo

Existe una larga lista de beneficios que puede llevar el tener instalado un colector de polvo, ayuda a diversos factores técnicos como ambientales en su aplicación.

Los beneficios esperados pueden ser principalmente los que se han detallado en la lista más abajo.

- Cumplir con las reglas y normativas ambientales estipuladas por gobernación. Ayuda a evitar posibles multas.
- Evita molestias de los vecinos al no contaminar el aire que respiran.
- Salvaguardar la salud de los trabajadores en las áreas productivas, mantener en buen estado área de trabajo y así evitar ausencias por enfermedad y reducción de accidentes.
- Limpia el aire aspirado por los trabajadores. Esto es de gran beneficio sobre todo en lugares cerrados y con altos niveles de polvo. Por ejemplo, en la industria minera
- Representa un ahorro en mano de obra al mantener al personal empleado en la producción en sus labores principales y no en las del recolector de polvo.
- Mantiene el área limpia lo cual le da más tiempo de vida a otra maquinaria
- Reducir en cantidades importantes las emisiones y contaminación al ambiente.

- Reciclar el aire fresco, el cual es aire tratado con equipos automáticos para necesidades de la producción industrial, y enviarlo nuevamente al interior del edificio. Esto ayuda al ahorro de energía.
- Recuperación de ciertos tipos de material trabajado, siendo éste de importancia para la producción. Por ejemplo, en la industria farmacéutica o alimenticia.
- Disminuye considerablemente el riesgo de incendio al trabajar con material inflamable.

3.1.5.- Ventajas de un sistema colector de polvo

- Sistema de limpieza Pulse Jet (Automática).
- Amplia variedad de materiales de mangas y cartuchos filtrantes.
- Diseños especiales que soportan altas temperaturas.
- Fabricamos Colectores de Polvo desde 4 a 2000 mangas
- Versatilidad en su diseño, fabricación robusta Heavy Duty.
- Los colectores se fabrican con los mejores materiales y bajo un estricto control de calidad de las partes, piezas y puesta en marcha del sistema.
- Fácil cambio de Mangas y mantenimiento.

3.2.- VENTILADOR DE CONTROL POLVO COMO PROPUESTA DE SOLUCION

3.2.1.- ¿Por qué montar sistema de ventilación como solución?

Dado la problemática principal que se presenta luego de los análisis en el capítulo anterior demostraran el impacto negativo que la condición de polvo de papel está afectando en distintos ámbitos, es necesario buscar una solución para mitigar el problema lo mejor posible.

Al tratarse principalmente de polvo de papel que se origina naturalmente por la acción de las maquinas, no es posible eliminar este fenómeno desde la misma fuente.

Por tanto, el alcance de esta propuesta es dar con una solución que pueda mitigar los efectos del polvo en suspensión sobre las áreas de interés. Por ellos es que se ha optado por proponer como solución; la implementación de un extractor de polvo que pueda instalarse en un punto estratégico con el objetivo de succionar cantidades considerables de polvo que están suspendidas en las áreas de interés, sin afectar negativamente a su entorno por sus funciones. Contribuyendo así a la disminución de acumulación de polvo de papel sobre la maquinaria crítica y prolongando sus condiciones operacionales en un estado aceptable.

3.2.2.- Argumento

La necesidad por disminuir cada vez más las paradas no programadas que llegan a significar pérdidas económicas hace de esta una solución que puede aportar a mediano y largo plazo para el aumento de producción de la línea de la cursadora.

Otras empresas papeleras del mismo rubro han presentado los mismos problemas especificados en el planteamiento de problema del capítulo 2 y han implementado soluciones para extraer el polvo que afecta a las maquinas del área del proceso por medio de máquinas dedicadas a la extracción de polvo en estas áreas específicas para mitigar el problema.

Los resultados de la observación de un estudio a otras dos empresas papeleras revelaron que se había acumulado polvo en las paredes, techos, suelos y máquinas de los diferentes entornos de trabajo. Se habían acumulado niveles de polvo especialmente altos en los lugares donde se realiza la tarea de corte de papel, como la máquina compactadora de campana y la producción de conos. Ambas fábricas implementaron un absorbedor de polvo en la máquina (sistema de escape local) que extraía el exceso de polvo y residuos de papel del proceso, un llamado sistema de residuos de recortes.

Lo cual nos muestra que el problema presentado por estas empresas es igual a la problemática presentada en el capítulo 2 para la empresa FPC tissue, lo que nos lleva a buscar una solución de igual índole para disminuir las concentraciones de polvo.

Curiosamente uno de los factores observo que se observó tanto en la planta de conversión de FPC Tissue como en las otras dos industrias papeleras, es la ausencia de ventilación natural en el área específica del proceso, al igual que la falta de un sistema de climatización general en el galpón para el venteo del aire en su interior, lo que aumento la concentración de polvo en el interior y el nivel de exposición al polvo en estas maquinarias.

3.2.3.- Justificación

Resulta ser más económico a largo plazo para una empresa de alto nivel de producción como lo es FPC Tissue, dado los beneficios que puede aportar tanto a maquinaria como a personal de trabajo. Realiza un trabajo periódico y más eficiente para mitigar los efectos del polvo que se compacta sobre la superficie externa de las maquinas en todo momento y disminuyendo prolongadamente la concentración de partículas suspendidas en el aire.

3.3.- **SOLUCION A PARA EL CONTROL DE POLVO**

3.3.1.- El ventilador “Circulaire Fan” de Luwa

El ventilador de limpieza de techo para industrias, este tiene la función de Soplar cíclicamente, mantiene el techo y las estructuras de la máquina libres de polvo. Debido al movimiento de rotación oscilatorio del Circulaire con una rotación horizontal de 360° y una oscilación vertical de 80°, se logrará una zona de limpieza con un radio de hasta 32 pies. Dependiendo del polvo, el Circulaire puede operar continuamente o por hora.

Debido a su régimen de soplado cíclico, el Circulaire de Luwa evita depósitos permanentes de polvo en tuberías, troncos de cable y marcos de construcción del edificio, de difícil acceso en los pasables industriales.



Fig 3.2A Circulaire Fan de Iuwa instalado.



Fig 3.2B Circulaire Fan desde angulo inverso

El equipo evita que el polvo migre a estructuras de nivel superior. El polvo permanece dentro de la zona de producción, donde se elimina del aire de retorno del sistema HVAC, o se elimina por un sistema de filtración. O, si no se instala sistema de aire de retorno se asentará en áreas de bajo nivel como el piso donde se puede quitar fácilmente mediante limpieza manual.

3.3.2.- Ventajas del Circulaire Fan

Las ventajas principales que el Circulaire Fan entrega son las siguientes.

- Elimina el riesgo de caída de polvo sobre la producción del papel Tissue
- Elimina la limpieza manual, especialmente cuando el acceso es difícil
- Elimina el polvo en las alturas automáticamente
- Sin acumulación y caída de depósitos de polvo en la zona de producción
- Ahorra costes y mejora las condiciones de trabajo
- Reduce el riesgo de incendio (prima de seguro inferior)
- Fácil y rápido montaje

Este ventilador de polvo puede proteger los equipos y a sus empleados del riesgo de incendio o explosión debido al polvo combustible. Y, ahorrando el costo mediante la limpieza automática no significa necesidad de organizar costosas limpiezas manuales, y no hay riesgo de pagar multas a las autoridades reguladoras.

Circulaire proporciona un movimiento permanente del aire, impidiendo que el polvo llegue o se asenta en superficies elevadas. Así Circulaire crea una barrera de aire entre las zonas donde se genera el polvo y las estructuras de nivel superior. Circulaire no permite que el polvo se mueva y se asienta en estructuras de techo, tuberías, conductos de aire y otras áreas de alto nivel.

En cuanto al área de cobertura de ventilación, el ventilador de Circulaire puede cubrir una superficie de radio de 45 pies, con rotación de 360° lo cual es una de las principales características que lo destacan como una solución en un área expuesta a polvo.

La temperatura de operación del modelo estándar puede operar hasta 50 °C / 122°F

3.3.3.- Recomendaciones de mantención del fabricante

Para el efecto completo de la barrera del aire se recomienda mantener Circulaire funcionando continuamente durante el tiempo que las máquinas de producción están en funcionamiento. Circulaire debería tener un tiempo de ciclo después de que la producción se haya detenido para mantener el polvo fugitivo persistente lejos de las superficies elevadas.

Una vez al mes se recomienda una comprobación visible. Inspeccione visualmente la rotación suave, y limpie la entrada y salida de las parrillas del ventilador si es necesario. Si algunas superficies continúan viendo acumulación de polvo, se sugiere el ajuste del rango de operación.

3.3.4.- Instalación del equipo.

Cada ventilador viene con un manual de funcionamiento, instrucciones de instalación y todo el hardware necesario para una instalación estándar montado en truss. El suministro eléctrico a Circulaire dependerá del tipo de ventilador seleccionado. El fabricante puede enviar instrucciones y manuales de instalación con antelación para ayudarle a planificar la instalación más eficiente. Una vez al mes se recomienda una comprobación visible. Inspeccionar visualmente la rotación suave, y limpiar la entrada y salida de las parrillas del ventilador si es necesario. Si algunas superficies continúan viendo acumulación de polvo, se sugiere el ajuste del rango de operación.

La altura recomendada de instalación puede variar entre 5 a 15 metros, lo cual se encuentra dentro del rango accesible del entorno donde se puede instalar el equipo en las zonas entre el gofrador y la cortadora, siendo que la altura entre estas zonas y las plataformas superiores están dentro de este alcance.

3.3.5.- Utilidad del equipo sobre el área de cursadora

El venteador Circulaire fan es fácil de instalar peso ligero y adaptable para una limpieza más eficiente controlada. Este ejemplar gira en un ángulo de 360° limpiando continuamente el polvo en suspensión que se acumula en un área de 15 metros.

El innovador diseño propietario de Circulaire ofrece muchas ventajas distintas. Para una inversión nominal desactivada el sistema prácticamente elimina los gastos de limpieza manual y aún más importante reduce el potencial de accidentes relacionados en escaleras y andanzas.

A largo plazo, el rendimiento de Circulaire se pone aún mejor, reduce los costos de los riesgos de incendio y los seguros relacionados al tiempo que mejora el entorno de trabajo general.



Fig 3.3 Polvo en suspensión



Fig 3.4 captación del polvo en suspensión

3.3.6.- Datos Técnicos

Fuente de energía	Electrico
Nivel de ruido	60 dBA
Frecuencia	50-60hz
Temperatura ambiente	50º C
Fabricante	Luwa

Nota: el costo de adquisición del “Circulaire Fan” se encuentra en el capítulo 4, sección “costo de inversión de solución propuesta”.

3.3.7.- Observación

Entendiendo las cualidades que el equipo ofrece para abordar la problemática que se presenta, se puede analizar un punto estratégico para su implementación, preferentemente donde el flujo de aire pueda ventilar los sectores de la cortadora, o el desenrollador, que es donde se concentra la mayor cantidad de polvo desprendido.

Debido al amplio perímetro de alcance que el equipo ofrece, se puede posicionar versátilmente de manera que el efecto de ventilación pueda cubrir toda una zona de las que son mencionadas.

Si se adquiriera un segundo ejemplar, el área de cobertura de esta ventilación sería mas amplia, permitiendo un mayor flujo de aire desde dos áreas estratégicas para desviar el polvo en suspensión hacia las máquinas de la cortadora y desrollador. El sistema de giro en 360° ofrece una mayor versatilidad al momento de necesitar variar su ángulo de ventilación. Sin alterar el entorno ni delimitando el espacio debido a que su instalación se realiza en una plataforma en altura.

3.4.- SOLUCION B: EXTRACTOR DE POLVO MOVIL

3.4.1.- Extractores de polvo móviles como solución

Ya hemos visto en la sección anterior (ítem 3.3) el ventilador de polvo maniobrable con ciertas características beneficiosas para su aplicación en el contexto propuesto, sin embargo, también hablaremos de una solución comúnmente utilizada para afrontar la problemática de la extracción del polvo en diferentes industrias incluyendo la industria de papel, se trata de los extractores de polvo móviles

Los extractores de polvo industriales móviles trifásicos son equipos diseñados para manejar aplicaciones intensivas en entornos industriales, donde la flexibilidad y la capacidad de mover el equipo de un lugar a otro son esenciales. Estos dispositivos combinan potencia, eficiencia y portabilidad para la recolección y filtración de partículas en suspensión, polvo y otros residuos generados en procesos como lijado, corte,

rectificado, soldadura y más. Lo cual los hace adecuados para operaciones industriales continuas. Funcionan con energía eléctrica trifásica (380-480 V), lo que les proporciona mayor potencia y eficiencia energética en comparación con los motores monofásicos. Equipados con ruedas resistentes que facilitan su transporte dentro de plantas o talleres.

Hay varios tipos de extractores de polvo portátiles que se pueden diferenciar según su diseño, capacidad, sistema de filtración y aplicaciones específicas. A continuación, se describen algunos de estos.

- a) Extractores de polvo seco: Diseñados para recolectar partículas sólidas como polvo de madera, metal o plástico. Comunes en carpinterías, talleres mecánicos y procesos industriales ligeros.
- b) Extractores de polvo húmedo/seco: Capaces de manejar tanto polvo seco como residuos líquidos. Usados en aplicaciones donde puede haber derrames o residuos mixtos.
- c) Con filtros estándar: Utilizan filtros de cartucho, bolsa o panel para capturar partículas grandes y finas. Comunes para tareas generales en talleres y fábricas.
- d) Con filtros HEPA: Equipados con filtros de alta eficiencia para capturar partículas ultrafinas, incluso de 0.3 micrones.
- e) c) Con sistemas de autolimpieza: Incluyen mecanismos automáticos para limpiar los filtros (como pulsos de aire comprimido). Ideales para aplicaciones donde se genera mucho polvo y se requiere un mantenimiento mínimo.



Fig 3.4 Extractores de polvo portátiles

Si bien los extractores de polvo portátiles pueden ser sin duda un producto muy económico y asequible, se debe tomar en cuenta los alcances o limitaciones de este para el análisis comparativo, entendiendo el contexto y condiciones requeridas para la solución más dinámica y optima posible.

3.4.2.- Extractor de polvo móvil X-CALIBUR UB-201

Como ya hemos mencionado, otra de las opciones propuestas como solución son los extractores de polvo portátiles. Para lograr hacer una ejemplificación y comparación correspondiente que se detallara más adelante (item 3.6) tomaremos un modelo específico dentro de esta gama con el fin de conocer sus características y alcances se encuentra dentro de las opciones del mercado. el Extractor de polvo UB-201 del fabricante “X-Calibur”, es un extractor de polvo industrial diseñado para la recolección eficiente de astillas de madera, aserrín en talleres y entornos industriales. A continuación, se detallan sus principales características.

Este colector de polvo cuenta con un motor de 3 HP lo cual es equivalente a una potencia de 2.250 Watts de potencia monofásico, con tres receptáculos de entrada de diámetro de 101,6 mm. (4 pulgadas) cada uno y un flujo de aire de 65.12 m³/minuto.



Fig 3.5 Extractores de polvo portátil UB-201

3.4.3.- Características del colector X-Calibur UB-201

Para esta segunda solución las principales características que el aspirador X-Calibur UB-201 entrega al usuario son descritas en los siguientes puntos.

Característica	Descripción
Motor de Calidad Industrial	Diseñado para manejar eficazmente la recolección de astillas de madera y serrín, ofreciendo un rendimiento óptimo en aplicaciones industriales.
Operación Silenciosa:	El diseño de una sola etapa permite un funcionamiento económico y con niveles de ruido moderados, entre 75 y 85 dB.
Movilidad Total:	Equipado con cuatro ruedas que proporcionan estabilidad y permiten un fácil desplazamiento dentro del área de trabajo.
Controles Industriales Duraderos	Diseñados para garantizar años de funcionamiento sin problemas, asegurando la confiabilidad del equipo.
Puertos de Conexión Versátiles	Incluye un puerto de entrada de 6 pulgadas y tres conexiones de acople de 4 pulgadas, facilitando la conexión a múltiples máquinas o herramientas simultáneamente.

3.4.4.- Aplicaciones y consideraciones importantes

Este extractor resulta ser ideal para talleres de carpintería, fábricas de muebles y otras instalaciones donde se generan grandes cantidades de polvo y residuos de madera. Su capacidad de succión de 2,300 CFM lo hace adecuado para manejar múltiples máquinas de manera simultánea, manteniendo el ambiente de trabajo limpio y seguro.

Consideraciones de Instalación

- La alimentación eléctrica requiere una conexión eléctrica trifásica de 380 V.
- En el espacio físico de instalación requerida se debe verificar las dimensiones del equipo y del espacio disponible para asegurar una instalación adecuada. En este caso debemos tomar en cuenta el espacio reducido de una de las zonas de interés.
- Es importante realizar mantenimientos periódicos, es decir preventivos para garantizar el óptimo funcionamiento y prolongar la vida útil del equipo.

3.4.5.- Especificaciones técnicas.

Se debe considerar especialmente las especificaciones técnicas para fin de lograr hacer una referencia más detallada de las prestaciones de este ejemplar y para fin de una comparación más precisa en la sección más adelante. (ver ítem 3.6).

Potencia de Motor	3 HP
Tensión	380V
Sistema de alimentación	Trifásico
Capacidad de Succión	2,300 CFM (pies cúbicos por minuto).
Presión Estática	15.5 inH ₂ O.

Diámetro del Ventilador	12 pulgadas (305 mm).
Nivel de Ruido	75-85 dB.
Conexión de Entrada	6 pulgadas (152 mm).
Conexiones de Acople	Tres puertos de 4 pulgadas cada uno.
Dimensiones Generales (Largo x Ancho x Alto)	1,546 mm x 549 mm x 2,000 mm.
Peso Neto/Bruto	30.4 kg / 33.1 kg.

3.4.6.- Valorización

Este ejemplar en el mercado tiene una valorización de \$ 2500 USD Lo cual en pesos chilenos es equivalente a un valor de \$2,500,000. Y el valor estimativo de los productos de esta categoría respetando la capacidad y prestaciones iguales o superior a ejemplares similares pueden variar desde los \$2000 USD hasta valores de \$4000 USD.

Resultando ser la gama de opciones más económica de las soluciones propuestas en este capítulo.

3.5.- SOLUCION C PARA EL CONTROL DE POLVO

3.5.1.- El colector de polvo industrial Gold Series X-Flo (GSX)

Este ejemplar es uno de los mejores sistemas de colección de polvo y humos de la industria en su categoría. Es uno de los modelos diseñados por camfil en la línea de colectores Gold

Series. Maneja todo tipo de polvos tóxicos y combustible, humos, incluidas las cargas de polvo fino, fibroso y pesado. Los colectores de polvo GSX procesan efectivamente el polvo mientras mantienen una baja caída de presión. Obtendrá el máximo caudal de aire posible por tamaño de colector junto con la mejor eficiencia energética.

Los colectores GSX utilizan tecnología de flujo cruzando junto a una configuración de deflectores que crean un flujo de aire uniforme que extiende la vida útil de sus filtros. Los filtros de cartuchos duran más tiempo y requieren menos cambios, lo que reduce los costos de mantenimiento significativamente. Exceden las normas de calidad de aire dentro de las fábricas y cuando están equipados con una ventila de explosión Camfil, ofrecen una alta protección contra explosiones de polvo combustible de acuerdo con las normas NFPA y ATEX.



Fig 3.6A vista lateral de colector x-flo

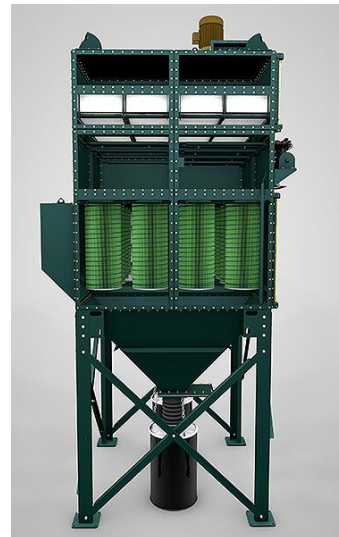


Fig 3.6B vista interna a los filtros del colector

3.5.2.- Características del colector X-Flo

Es fácil personalizar el colector de polvo industrial GSX para su entorno de trabajo específico. Los módulos individuales admiten caudales de aire de hasta 6,000 CFM, (pies cúbicos por minuto) cada uno, proporcionando una variedad casi ilimitada de configuraciones. Rápida entrega de un sistema adecuado para su aplicación y espacio. Es ideal para coleccionar el polvo seco a granel generado en sus procesos de manufactura.

El colector de polvo industrial Gold Series X-Flo tiene un diseño modular que ofrece máxima flexibilidad. Cada módulo puede manejar caudales de aire de hasta 6,000 CFM (pies cúbicos por minuto). Las configuraciones de sus componentes son virtualmente ilimitadas.

Se diseñó la entrada de aire, los filtros y la posición del filtro para que cada módulo pueda alojar filtros más grandes sin aumentar el espacio que ocupa. Cada módulo contiene cuatro filtros HemiPleat® y mantiene una presión diferencial baja.

Este tipo de colector puede equiparse con una variedad de opciones, como ventilas de explosión, válvulas rotativas, sistemas de limpieza automática de filtros, y más, para adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación.

3.5.3.- Valorización

El costo de un colector de polvo industrial como el Camfil Gold Series X-Flo, diseñado para manejar un flujo de aire de 6,000 CFM, puede variar ampliamente según las configuraciones específicas, los filtros requeridos y las características adicionales. Sin embargo, considerando los modelos de esta serie como modo estimativo general, el costo inicial de un colector de polvo de esta categoría suele comenzar en un rango de \$30,000 a \$70,000 USD, lo que en peso chileno es equivalente a un rango de entre \$30,000,000 a

\$70,000,000 pesos chilenos dependiendo la variación específica del dólar en la moneda local.

Estos valores no incluyen los costos adicionales por impuestos por lo que estos son agregados al valor neto.

Por otra parte, dependiendo del requerimiento para las aplicaciones de este colector puede el precio puede aumentar por la adición de componentes necesarios como sistemas de limpieza automática, filtros HEPA, certificaciones ATEX o sistemas de control avanzado, que pueden elevar el costo total entre un 20% y un 50% adicional.

También se debe considerar el costo adicional de Instalación y transporte, el cual, dependiendo de la ubicación, la instalación y el envío podrían sumar entre \$5,000 y \$15,000 USD, lo cual es equivalente a un valor de entre \$5,000,000 y \$15,000,000 de pesos en la moneda local en CLP.

3.6. COMPARATIVA DE SOLUCIONES PROPUESTAS

A continuación se pretende realizar un breve análisis comparativo tomando algunas de las características más relevantes de las tres soluciones propuestas anteriormente para distinguir según los requerimientos necesarios cual es el ejemplar que es más recomendable como solución a la mitigación del problema propuesto en el capítulo 2, para ello se describirá brevemente cual es la opción que se destaca en cada ámbito de los ilustrados en la siguiente tabla y finalizando, se detalla la opción más idónea factible para su implementación en el área de conversión de la planta de papel Tissue.

Se analizará la opción mas conveniente tomando en cuenta 3 aspectos; las dimensiones y peso, el valor de adquisición y la capacidad de flujo de extracción. Dado nuestro interés en sus funciones y flexibilidad.

Solución A	Solución B	Solución C
		

Dimensiones y peso

Se debe considerar fundamentalmente las dimensiones del espacio entre las maquinas donde el polvo de papel afecta, este perímetro es angosto entre máquinas y cubre un área de 160 m² aproximadamente. Por lo que es imposible que la solución C pueda ser aplicada en este caso debido a que los puntos estratégicos donde se enfoca el interés de extracción son demasiado reducidos para los ductos del colector, los cuales su gran tamaño hace inaccesible poder aspirar el polvo en estas zonas.

Capacidad de fluido

La capacidad de flujo de succión de cada módulo de la solución C es 6000CFM, muy superior a los 2300 CFM de la solución B, a pesar de ser una dimensión más práctica para el área reducida, es ineficiente al momento de requerir la succión de varios puntos del área a la vez. Ya que debe ser manipulado manualmente por personal para llegar a estas zonas, lo que demanda tiempo y costo. Si bien la potencia de flujo de aire de la solución A no se tiene especificada, este puede cubrir un área de venteo de 49 pies desde un ángulo superior. Lo que lo hace estratégicamente flexible desde aquel punto.

Valor comercial

En cuanto a los precios de adquisición detallados en la sección de valorización de cada solución. Para nuestra zona de interés tomando en consideración el costo de inversión y la factibilidad de las prestaciones. La solución B resulta ser la más económica, con una valorización neta estimada en \$3000USD aprox. Seguido de la solución A con un costo de \$15000USD Y finalmente la solución C teniendo un valor más alto de entre \$30000 y \$70000USD.

3.6.1.- Solución recomendada

Luego de tomar en cuenta las características mas importantes de cada solución propuesta recordando que esto son solo ejemplares de categorías mas amplias y cada una tiene prestaciones que la distinguen para situaciones específicas. Se ha llevado estas observaciones al contexto de las maquinas rotativas que han sido planteadas en el capitulo 2 y tomando en cuenta los puntos nombrados anteriormente, se ha concluido de la solución A (Circulaire Fan de LUWA) es la propuesta de solución mas conveniente para implementar en las áreas de interés. Esta solución garantiza una maniobrabilidad más dinámica para mitigar en un gran porcentaje la suspensión del polvo sobre las maquinas, debido a que para las dimensiones del área del trabajo que es afectado el equipo puede operar satisfactoriamente dentro de este perímetro a pesar de los espacios reducidos entre maquinas, ya que este equipo puede ser instalado en un punto superior estratégico, para la ventilación y circulación del aire suspendido en un ángulo de 360° de forma autónoma. Es decir, esta automatizado para recircular gran parte del perímetro requerido gracias a su sistema de control interno. Lo cual puede ser un aporte significativo para disminuir las cantidades concentradas de polvo de papel que afectan las condiciones operaciones de los equipos rotatorios en la línea de la cursadora, aportando a un mejoramiento de condiciones en el tiempo, disminuyendo la posibilidad de fallas por sobrecalentamiento en equipos tanto rotatorios como derivados, y con ello, la frecuencia de paradas no programadas debido a la limpieza e inspección de estos.

CAPITULO 4: ANALISIS DE IMPACTO EN LA PRODUCCION

4.1.- INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD

4.1.1.- ¿Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad?

La metodología del RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad se define como el proceso utilizado para determinar lo que debe hacerse para garantizar que cualquier activo físico siga haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operativo actual

Pero para poder implementar aquel método, antes de ello es necesario determinar cómo nuestros equipos o activos se han venido comportando en el pasado y eso incluye, determinar cuál ha sido su histórico de disponibilidad, indicador del cual hablaremos más adelante (Capítulo 4) y confiabilidad para un determinado periodo de tiempo.

4.1.2.- ¿Qué es la confiabilidad en los equipos?

La confiabilidad en mantenimiento es la probabilidad de que un equipo, sistema o máquina funcione correctamente durante un período de tiempo determinado. Es un indicador de gestión que se basa en el historial de rendimiento del equipo y en una estimación cualitativa de su funcionamiento futuro. Y como ya se mencionó anteriormente, para calcular la confiabilidad se toman en cuenta datos del historial de rendimiento del equipo y una estimación cualitativa de su funcionamiento futuro.

La confiabilidad hace referencia a la capacidad de una máquina sin ningún tipo de parada no programada ni pérdida de velocidad. Una máquina es confiable si puede fabricar artículos de buena calidad, a su máxima velocidad, sin riesgo de ocasionar una falla o avería.

La confiabilidad puede calcularse utilizando la función de confiabilidad exponencial, que se basa en el supuesto de que las fallas se distribuyen aleatoriamente a lo largo del tiempo.

$$\text{Confiabilidad (R)} = e^{(-\lambda t)}$$

donde;

R(t): confiabilidad en el tiempo

e: base log natural = 2.718

λ : tasa de fallas del sistema

t: periodo en el tiempo

4.1.3.- Breve historia de la confiabilidad.

Aunque el termino confiabilidad fue utilizado por primera vez a principios de la década de los años ochenta en el siglo XX, su concepto ha venido evolucionando desde los años cuarenta. Ya entonces departamentos e ingenieros de mantenimiento utilizaban estrategias preventivas para alcanzar cero fallas o paradas no deseadas en la máquina. Dicho mantenimiento preventivo consistía en realizar paradas programadas y cambios sistemáticos de compuestos en las máquinas para mantener sus condiciones. Esta era la mejor manera de anticipar la ocurrencia de una falla y, por lo tanto, de mejorar la confiabilidad de una máquina.

Con el paso de los años el mantenimiento planeado fue perdiendo adeptos; la idea resultaba costosa y en muchas ocasiones ineficiente.

Entre las décadas de 1960 y 1980 el mantenimiento preventivo evoluciono en la industria aeronáutica americana a un programa que permitía identificar y priorizar acciones eficaces y realizables (RCM).

Esta técnica fue evolucionando durante los siguientes años y comenzaron a ser adoptadas en diferentes sectores industriales con importantes beneficios, hasta la actualidad.

Comúnmente se le atribuye al ingeniero mecánico Jhon Moubray como el “padre del RCM”.

4.1.4.- Criterios de probabilidad de falla.

La confiabilidad está directamente relacionada a una probabilidad; en este caso, a la probabilidad de que ocurra o no una falla en la máquina. Mejorar la confiabilidad consiste entonces en identificar y reducir los factores que puedan ocasionar potencialmente una falla, de manera que se reduzca considerablemente esta probabilidad.

Así, la probabilidad de falla depende de varios criterios:

Condiciones de la maquina: Hace referencia al nivel de conservación. Una maquina en buen estado tiene menor probabilidad de fallar en uno de sus compuestos que una maquina en condiciones de degradación o desgaste elevado.

Condiciones de uso: Como su nombre lo indica, se refiere a la manera en que la maquina es utilizada en producción. Si se exceden sus parámetros como velocidad, presión o demás, la probabilidad de falla es mayor, y su confiabilidad, menor.

Condiciones de diseño: No importa que el estado de conservación de la maquina y las condiciones de uso sean correctas; un compuesto puede fallar en función de sus materiales o diseño inicial. Un pobre proceso de diseño es equivalente a una alta probabilidad de falla y baja confiabilidad.

Si se satisface cada criterio mencionado (condiciones de máquina, uso y diseño) se disminuye la probabilidad de que ocurra una falla, y el equipo es más confiable y robusto para soportar la demanda y la satisfacción del cliente, Por el contrario, la ausencia de uno puede aumentar la probabilidad de falla y, con esta, las pérdidas en la línea como inventarios, tiempos de espera, etc.

4.1.5.- ¿Que es la disponibilidad de los equipos?

La disponibilidad es un índice de tiempo de operación o de funcionamiento de un equipo. Si este presenta una falla u otro tipo de parada, se puede decir que no está disponible para producir, y si el tiempo de parada en un equipo es importante, su tasa de disponibilidad será muy baja. Por ejemplo, un valor inferior al 50% en la tasa de disponibilidad quiere decir que la maquina estuvo detenida más de la mitad del tiempo en el que pudo, en teoría, trabajar, y que le va a tomar el doble o más del tiempo planeado en producir la cantidad de artículos esperada (una disponibilidad de 50% se obtiene cuando de ocho horas de jornada laboral el equipo solo trabaja durante cuatro).

Ahora, el porcentaje en el que esta expresada la tasa de disponibilidad se estima respecto al tiempo de apertura del equipo. Este es el tiempo máximo teórico durante el cual se puede utilizar una máquina.

Por ejemplo;

Tiempo de apertura en un día = 8 horas (un solo turno) o 24 horas (en el caso de 3 turnos).

Tiempo de apertura en un mes = 8 horas * 27 días = 216 horas en un mes descontando los domingos, o 24 horas * 30 días = 720 horas para un proceso continuo (7*24).

Si durante un turno una maquina trabaja sin paradas ocho horas continuas, su disponibilidad durante este periodo sería igual al 100%. Cada vez que la maquina se detiene, su tasa de disponibilidad disminuye.

Existen cuatro tipos de pérdida de disponibilidad:

- Paradas programadas
- Cambios de herramienta o de fabricación
- Fallas o averías
- Ajustes de producción



Fig. 4.1 Indicadores de mantenimiento.

4.1.6.- Cálculo de la tasa de disponibilidad.

Para calcular la tasa de disponibilidad es necesario obtener primero el tiempo de producción. Este es el resultado de la resta de las paradas programadas del equipo y las paradas no programadas al tiempo de apertura. El resultado es dividido luego entre el tiempo de apertura.

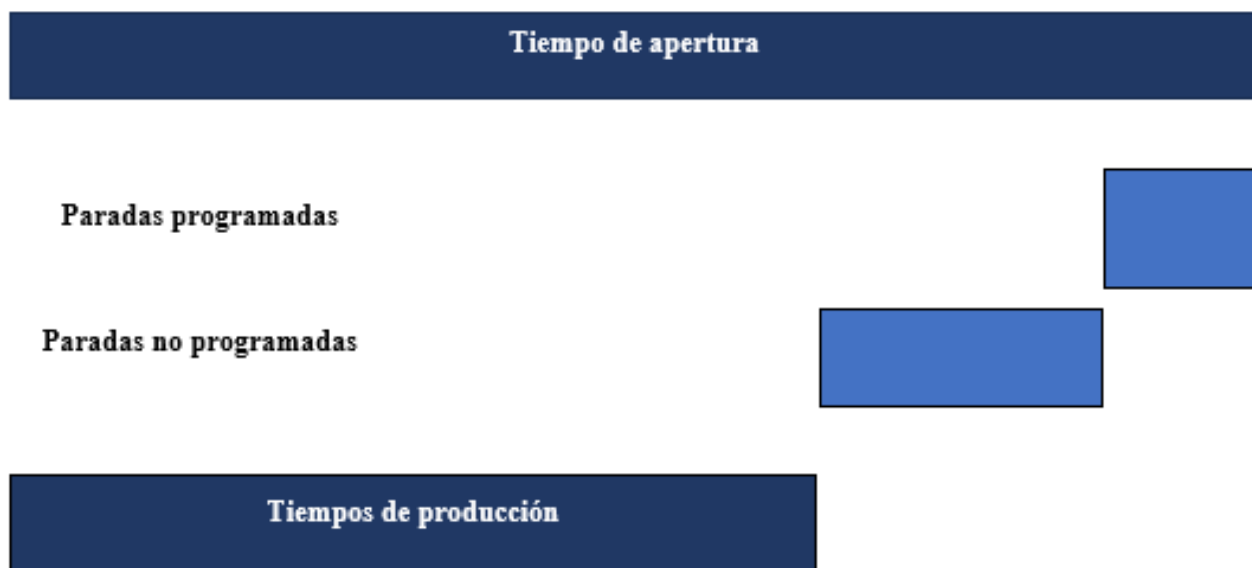


Fig. 4.2 GRAFICA

4.1.7.- Aplicación de cálculo de disponibilidad para equipos rotativos.

Tomaremos ahora el caso con una de las maquinas que se encuentran instaladas y operativas en el área de la cursadora. Como las maquinas rotatorias son en su mayoría iguales en sus propiedades de diseño ya que están diseñadas por el mismo fabricante (ABB), tienen misma frecuencia, el consumo eléctrico de corriente es muy similar dado la conexión que se le configuro en los bornes, (conexión estrella), lo que quiere decir es que la tensión con la que operan los motores también será la misma, y como están sometidos al mismo ambiente, la temperatura externa también asumiremos es la misma para todos.

Siendo así, procederemos a calcular la disponibilidad de una de las maquinas rotatorias que como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, las anomalías de condición observadas en los motores en las inspecciones eran iguales en casi todos los motores del sector. Por lo que el reacondicionamiento ejecutado en las paradas considera todas las máquinas y no solo una a una parte de estas.

Según la tabla del capítulo 2 “Paradas no programadas por limpieza de polvo” se cuenta con las fechas de detenciones no programadas y programadas que se llevaron a cabo durante el periodo de enero-septiembre 2024. Conocemos los tiempos entre fallas (MTBF) y sabemos que los tiempos de operación de las maquinas del área de conversión son de proceso continuo. Es decir, 24 horas al día y 7 días a la semana.

Tiempo de operación de máquinas: $24 \text{ horas} * 7 \text{ días} = 168 \text{ horas/ semana}$

Como el periodo detallado en la tabla involucra nueve meses del año, tomaremos ese lapso como nuestro

Consideraciones: El cálculo de disponibilidad con la información disponible es únicamente para generar un estimado de cuanto es el nivel de disponibilidad de la máquina para comparar resultados con el impacto que puede implicar la implementación de la solución sobre este indicador, y no necesariamente representa una situación real del estado del equipo. Tampoco se considera otros factores como detenciones generales de planta u por otros equipos que impacta a los tiempos de producción.

Nuestro inicio de periodo es 01 de enero y final de periodo es 30 de septiembre.

Por tanto;

Tiempo de apertura = $24 \text{ horas} * 30 \text{ días} * 9 \text{ meses} = 6480 \text{ horas}$

Según la tabla hubo 10 detenciones no programadas durante el periodo de apertura. Asumiendo que cada parada de mantención registrada tiene una duración de 8 horas

Tiempo de horas no programadas = 8 horas *10 = 80 horas

Las paradas programadas se consideran cada 2 meses, por tanto, durante el periodo de apertura se llevaron a cabo 4 detenciones.

Tiempo de horas programadas = 8 horas *4 = 40 horas.

Tiempo de producción = Tiempo de apertura – (paradas programadas + no programadas)

Ahora, dado nuestro alcance, como lo que buscamos aquí es la disponibilidad que las maquinas rotatorias tuvieron durante en el lapso del tiempo de apertura, generalmente no consideramos el tiempo de horas programadas de detención. Por lo que para dicho calculo solo se consideramos las horas no programadas de detención, siendo así, nuestro calculo se daría de la siguiente forma.

Tiempo de producción = 6480 horas – 80

Tiempo de producción = 6480 horas – 80

Tiempo de producción = 6400 horas.

Por lo tanto, la tasa de disponibilidad la podemos obtener por medio del siguiente calculo.

Tasa de disponibilidad = Tiempo de producción / Tiempo de apertura

Reemplazando;

Tasa de disponibilidad = 6400 horas / 6480 horas

Tasa de disponibilidad = 98%

4.1.8.- Observación

Las maquinas consideradas estuvieron detenidas un 2% del tiempo de apertura. Lo que es una cifra satisfactoria para la disponibilidad de los equipos en ese periodo.

Ahora, si se pudiera eliminar la falla, el número de detenciones programadas disminuiría y, por ende, el porcentaje de disponibilidad del equipo durante el periodo de apertura aumentaría aún más.

4.2.- PRODUCCION DE LA CURSADORA PARA RETORNO DE INVERSION

4.2.1.- Producción de papel de la planta y la línea cursadora

Como ya se había mencionado anteriormente en el capítulo uno, la producción de productos de papel higiénico de FPC Tissue desde hace años se estima que alcanza los 77000 Toneladas por año. Según datos estadísticos manejados por la gerencia de la

empresa. Una cifra que puede variar con el paso de los años al implementar mejoras al proceso.

La línea de cursadora en cambio, que representa una parte de la producción debido a que, no es la única línea de producción de rollos. Existe una segunda línea cursadora, hermanable parcialmente a la primera.

La cursadora 1 se encarga exclusivamente de procesar y convertir los rollos de papel higiénico, con una producción mensual de 1200 toneladas al mes, este prácticamente produce solo 1 formato.

Por otro lado, la cursadora 2, que viene siendo la línea de recortado y envasado tanto de rollos de papel higiénico como de bobinas de toallas, tiene una producción aproximada de 2800 toneladas al mes.



4.3 Línea de producción de rollos de papel en una de las cursadoras

4.3.- EVALUACIÓN DE COSTOS ASOCIADOS

4.3.1.- Ganancias de producción

Como ya se mencionó anteriormente, la empresa FPC Tissue tiene numerosos distribuidores y otros clientes potenciales asociados para la venta de sus productos. Si bien

el precio de ventas que FPC tissue determina con los distribuidores puede variar según sus tratados. Podemos realizar un cálculo aproximado para determinar la rentabilidad que genera las ventas de producción.

Uno de los productos más genéricos de FPC tissue es el papel higiénico Swan de 4 unidades de 50 metros.

La empresa les vende este producto a sus proveedores en mangas de 8 paquetes, con un peso neto resultante de 5 kg. Estos distribuidores finalmente comercializan el producto a sus clientes finales con un precio aproximado de \$15,000 la manga. Por tanto, se sabe FPC Tissue obtiene un 30% de ganancias a precio de proveedor. Eso quiere decir que el precio al que FPC Tissue les vende a sus distribuidores es equivalente al 70% del precio de venta del distribuidor a sus clientes

En este caso el precio de venta de este producto de FPC Tissue a sus clientes tiene un valor aproximado de \$10,500 pesos chilenos.

Por tanto, como sabemos que la cursadora 1 produce exclusivamente rollos de papel con una producción de 1200 toneladas al mes, lo que es equivalente a 1,200,000 kg de producción.

Si dividimos esta cantidad por el peso de la manga obtendremos la cantidad de mangas que FPC Tissue vende a sus distribuidores

Cantidad de mangas = peso de la producción total / peso de la manga

Cantidad de mangas = 1,200,000 / 5

Cantidad de mangas = 240,000 mangas de rollos de 8 paquetes al mes.

Por último, si multiplicamos esta cantidad de mangas por el precio de venta de FPC Tissue obtendremos la rentabilidad que genera la línea 1 de conversión.

Rentabilidad = cantidad de mangas producidas al mes * precio de venta de la manga

Rentabilidad = 240,000 * 10,500

Rentabilidad = \$ 2,520, 000,000 pesos chilenos al mes.

Cabe considerar que esta cifra puede estar desfasada por diversos factores relacionados a los negocios internos de la empresa, variación de productividad al mes, porcentaje de producción con defectos, entre otros. Por lo que esta cifra es estimativa.

4.3.2.- Costo de inversión de solución propuesta.

Finalmente, el costo de inversión que supone implementar la solución recomendada después del análisis comparativo en el capítulo 3. En el cual se ha tenido en llegado a concluir que la solución A correspondiente al modelo Circulaire Fan del fabricante LUWA, es la alternativa más indicada para afrontar la problemática del polvo en suspensión, dando cuenta que, según sus prestaciones y alcances, se ha concluido que es el ejemplar más factible para la mitigación del polvo en suspensión sobre las maquinas del área de gofrador y la recortadora en el área de conversión. Este ejemplar tiene una valorización del fabricante con un costo neto de \$15000 USD, o lo equivalente al valor neto aproximado de \$14,908,000 pesos chilenos. (sujeto a la variación del dólar cada día). Mas el valor agregado por impuestos por importación desde el país de origen.

A esto se deben sumar los costos asociados a mano de obra, traslados, fecha apropiada, costos de gestión de implementación, entre otros costos cuyos detalles los debe determinar el departamento de gerencia según la estrategia que más estimen conveniente.

4.4.- ANALISIS

4.4.1.- Costo de producción perdida por paradas inesperadas.

Como ya conocemos el valor monetario de producción que genera la línea de cursadora en 30 días o 720 horas. Si comparamos esta cantidad de horas con las horas totales de paradas no programadas que se dieron en el periodo entre enero- septiembre de 2024, como se detalló anteriormente. Podemos calcular cuánto fue el costo de producción perdida en total por las detenciones no deseadas.

Ya sabemos que el tiempo total de paradas no programadas fue de 80 horas.

Ganancia / horas al mes

$$2,520000000 / 720 = 3,500,000$$

Ganancia por hora * horas de producción perdida

$$3500000 * 80 = 280000000$$

En total, durante el periodo enero- septiembre de 2024 se perdieron 280,000,000 millones de pesos en pérdidas por paradas no deseadas, provocadas principalmente por la acumulación de polvo de papel que afecta periódicamente a las máquinas de la línea de producción de la papelería FPC Tissue.

Cuyas consecuencias pueden ser mitigadas con la implementación de la propuesta de solución presentada en el capítulo 3, como una solución viable, económica (considerando las ganancias de la producción de la línea de cursadora), amigable con el ambiente, el cual por su versatilidad en ventilación puede aportar a mejorar las condiciones operacionales de las máquinas y condiciones ambientales de trabajo.

5.- CONCLUSION

Los análisis de diagnóstico indican que los motores rotatorios del área de la cortadora y gofradora han sido intervenidos hasta tres veces más de lo que se planifico en el programa de mantención durante el primer semestre. Los informes proporcionados por la empresa responsable revelan que las intervenciones se deben por el exceso de polvo que obstruyen los sistemas de ventilación. El análisis de falla ha indicado que el sobrecalentamiento es la principal causa de las detenciones. Las inspecciones visuales y termográficas demuestran que el polvo compactado en las estructuras ha elevado las temperaturas alcanzando en algunos casos los niveles máximos de 90°C permitidos por el fabricante para una operación optima de la integridad mecánica.

Durante el primer semestre la disponibilidad de los equipos se mantuvo alta en un 98% tomando en cuenta el periodo de apertura, pero debido a las detenciones no programadas se perdieron cerca de 280,000,000 millones de pesos chilenos en producción de papel. Situación problemática que según el análisis RCA ha ocasionado el polvo de papel higiénico en suspensión durante la operación de los procesos. Esto además implico un aumento de costos por mantención en reacondicionamiento de las maquinas y tiempo de producción inactivo, sino que ha generado impacto en la planificación del mantenimiento preventivo aplicado a las zonas del área de conversión.

Haciendo análisis cuantitativo de los datos presentados tomando la cantidad de fallas y la disminución del MTTF en 2024 se da a pronosticar una tendencia que puede ir en aumento de la frecuencia de los MTTF si no se aborda el problema.

Los estudios realizados en industrias similares con igual exposición al polvo arrojan que los trabajadores expuestos a inhalar periódicamente el polvo seco en un plazo de 25 a 30 años presentan problemas respiratorios o pulmonares que pueden ser agravantes a

avanzada edad. Siendo estas condiciones no inadecuadas según la normativa OSHA para la exposición de sustancias en el aire.

En este estudio se ha presentado una serie de tres soluciones alcanzables para FPC Tissue indagando en las tecnologías de control de polvo más comunes existentes en el mercado, cada propuesta representa una amplia categoría de soluciones que difieren de su accesibilidad y prestaciones, se ha analizado diferencias principales entre cada solución para entender el contexto que hace más apropiado una a la otra. Analizado el entorno de interés de 160 m² aproximadamente, se propuso la opción A como la solución más viable tomando en consideración sus dimensiones, capacidad operacional, costo económico, autonomía, consumo energético no demanda exigencias ambientales en su uso. Presenta una opción viable que contribuye a la mejora de la mantenibilidad y disponibilidad, generando un aporte para mitigar la velocidad de obstrucción del polvo de al menos un 40% sobre los activos.

Se ha escalado los niveles de ganancias monetarias estimadas de la línea de producción por periodo de tiempo para referenciar el retorno de inversión de cada solución si se llegase a implementar, así, la pre-factibilidad de cada propuesta es comparable y sujeta a la estrategia de mantenimiento preventivo adoptada. Habiendo justificado que se busca el aumento del MTBF actual y la mejora de condiciones operacionales de los equipos rotatorios.

6.- BIBLIOGRAFIA

VELASCO, Claudia. Cercal [en línea] <<https://cercal.cl/envinculo/colectores-de-polvo/>> [Consulta: 29 de diciembre de 2023].

MURCIA, Felipe. Smurfit Kappa [en línea] <<https://www.smurfitkappa.com/cl/newsroom/blog/historia-del-papel>> [Consulta: 30 de abril de 2024].

HEEDERIK, Dick., BURDORF, Lex., BOLEIJ, Jan., WILLEMS, Han., y VAN BILSEN, Jeroen.. (1987). Pulmonary function and intradermal tests in workers exposed to soft-paper dust. [en línea] American journal of industrial medicine. 11(6), 637–645. <<https://doi.org/10.1002/ajim.4700110605>> [Consulta: Noviembre de 1987].

ANDERSSON, Eva., SÄLLSTEN, Gerd., LOHMAN, Susanna., NEITZEL, Richard., y THORÉN, Kjell. (2020). Lung function and paper dust exposure among workers in a soft tissue paper mill. [en línea] International archives of occupational and environmental health, 93(1), 105–110. <<https://doi.org/10.1007/s00420-019-01469-6>> [Consulta: 26 de agosto de 2019].

CASTAÑEDA, Andrey. Mejoramiento de la confiabilidad. 1ra ed. Bogota: Ecoe Ediciones, 2019. 209 p. ISBN13 9789587717655.

ROSALES, Jean. Fracctal [en línea] <<https://www.fractal.com/es/mantenipedia/que-es-la-confiabilidad-en-el-mantenimiento-y-como-calcularla>> [Consulta: 31 de Julio de 2023].

HOFFMAN-LATAM. nvent [en línea] <<https://hoffman-latam.com/blog/como-afecta-el-polvo-a-tus-equipos-electricos/>> [Consulta: 01 de octubre de 2019].

GENUX. Suministros industriales [en línea] <<https://www.suministrosindustriales.uy/beneficios-de-colectores-de-polvo-industriales/>> [Consulta: 22 de mayo de 2024].

S&P. S&P [en línea] <<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-coleccion-polvo/>> [Consulta: 22 de julio de 2021].