



Universidad del Bío-Bío
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería en Maderas
Escuela de Ingeniería Civil Química



IMPACTO DEL COATING Y CREPADO EN LA CALIDAD DEL PAPEL ELABORADO EN FPC TISSUE

Informe de Habilitación Profesional presentado en conformidad a los requisitos
para obtener el título de Ingeniero Civil Químico

JORGE ANDRÉS HERRERA SAAVEDRA

Profesor Guía: Dra. María Graciela Aguayo P.
Ingeniero Supervisor: Dr. Arturo Maya P.

Concepción, Julio de 2019

RESUMEN

La industria papelera, ha demostrado un crecimiento considerable respecto a volúmenes de producción, ya que al año 2013 hubo una producción total de 403 millones de toneladas y se pronostica que al año 2025 el consumo de papel superará los 500 millones de toneladas. La industria papelera contempla todos aquellos papeles fabricados con gramaje entre 12 y 300 g/m², siendo los de bajo gramaje papeles de uso doméstico y sanitario, mientras que aquellos cartones y cajas de embalar presentan gramaje mayor.

Este trabajo de Habilitación Profesional se centra en la industria del papel de uso doméstico y sanitario, o más conocido como papel tissue. Este papel se diferencia del resto de papeles fabricados debido a su bajo gramaje, al uso de aditivos químicos en su etapa de secado y la mecánica de crepado en su elaboración que le da una estructura característica. En FPC Tissue S.A. existen situaciones operacionales que impiden tener resultados constantes, sin variaciones en el proceso que se ven reflejados en las características del producto final, alguna de las condiciones detectadas han sido, la dosificación de aditivos de coating como recubrimiento del cilindro Yankee y la sección de crepado como acción mecánica para el aumento de la suavidad. Considerando este escenario, en este trabajo se consideraron en estudio dos tipos de papeles que son fabricados en mayor volumen, Papel Higiénico 15 gsm y Papel Higiénico texturizado fino 21 gsm. Se estudiaron los efectos del coating y el crepado en la calidad del papel tissue elaborado en FPC Tissue, mediante herramienta estadística descriptiva (PCA) y conocer relaciones claras entre las variables de proceso y las propiedades físicas del papel, luego se realizaron regresiones lineales múltiples para datos de proceso y así predecir el valor de suavidad estandarizando los parámetros del proceso en ambos papeles. También se realizó un análisis de los elementos de crepado, para el caso del Papel Higiénico texturizado fino 21 gsm se analizó el uso de cuchillos cerámicos y el efecto que estos causaban en la suavidad (como propiedad final de producto), además se estudiaron los cortes de hoja y las causas que provocan este defecto en el papel. Finalmente, y luego del análisis general de planta, equipos y proceso productivo, se gestionó una estrategia para el cuidado del cilindro Yankee que es el corazón de la máquina papelera.

A partir del estudio, se obtuvo como resultados que existe relación inversa entre las dosificaciones de Modificador y Release (aditivos de coating) es decir, como se busca aumentar la suavidad, es necesario reducir la dosificación de estos dos aditivos. Esta información fue confirmada a través de las predicciones por el modelo de regresión lineal realizado. Por otro lado, se determinó que el

uso de cuchillos cerámicos permite aumentar la suavidad en el Papel Higiénico texturizado fino 21 gsm en hasta un 3,5%. Con respecto al análisis de cortes de hojas, se determinó que existe un porcentaje de cortes de hojas asociado al exceso de Release (uno de los aditivos de coating), por lo que se sugiere disminuir la dosificación para evitar este defecto en el papel. Y, por último, se gestionó el cuidado del cilindro Yankee mediante una planilla *check list*, considerando toda la información de proceso y de diseño del equipo, para el buen funcionamiento de este.

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo concluyo un sueño que comencé hace ya 6 años. Siendo un joven dedicado y con objetivos claros, que no pensó nunca en llegar a este momento. Quiero agradecer primero a Dios, que me dio las fuerzas, la inteligencia y la constancia de perseguir mi sueño, ya que durante esta época como estudiante siempre fue mi ayudador. Agradezco a mis padres, Jorge y Cecilia, por confiar siempre en mí, en que podía lograr el objetivo, por soportar mi carácter en los momentos difíciles y por siempre mantener las mejores condiciones en el hogar para poder estudiar. Gracias a mis hermanos Karla y Benjamín por su cariño incondicional cuando lo necesité. Agradezco a mis abuelos, tíos, primos y familiares más cercanos por el amor y el cariño entregado siempre.

También agradecer a mi mejor amigo, Matías, por nunca dejar de confiar en mí y por todo su apoyo, por los buenos y malos momentos. A mis amigos de la iglesia Cristóbal, Alexis, Fabián y Gerald por los buenos momentos vividos. A mis hermanos de la iglesia por las constantes oraciones a mi favor. A mis compañeros de universidad y amigos Soledad, Marianne, Cristian, Matías, Tamara y si alguien se me escapa, me disculpan, por la amistad que obtuve desde ellos y el trabajo en equipo realizado durante todos estos años.

Agradecer a mis profesores por la formación profesional y humana entregada, por la exigencia y el profesionalismo en sus enseñanzas Laura, Guillermo, William, Serguei, Jorge, Paola, José. A mi profesor Luis Arteaga, por permitirme trabajar junto a él en investigación y el generar un artículo científico publicado en una revista científica.

Gracias a FPC Tissue por darme la posibilidad de trabajar junto a ellos durante 8 meses y tener valiosas experiencias en el ámbito profesional y personal, Don Eduardo Izquierdo, Don Juan Fritz, Don Danilo Rojas, Don Marcos Monsalve, Esteban Neira, Claudio Saavedra, Sebastián Campos, Tania Osorio, Vanessa Ortega, Claudia Mora, operadores de máquina, equipo de FPC Tissue en general, por la información entregada y por la calidad humana que ahí existe. A Don César por la fruta al mediodía. A mi supervisor Don Arturo Maya, por el constante apoyo y buena voluntad para realizar esta Habilitación Profesional.

A mi profesora tutora María Graciela Aguayo, por el apoyo incondicional, por escucharme en los momentos difíciles y por guiarme en este desafío.

De esta forma agradezco a todos y cada uno de los nombrados y aquellos que me apoyaron y no están incluidos GRACIAS TOTALES....

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
TABLA DE CONTENIDOS	iv
NOMENCLATURA	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO SITUACIÓN PROBLEMA.....	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Industria Papelera.....	5
3.1.1. Nivel nacional.....	5
3.1.2. Nivel internacional.....	6
3.2. Materias primas para la producción de papel	9
3.2.1. Pulpa química	9
3.2.2. Pulpa mecánica	9
3.3. Características y propiedades específicas del papel tissue	12
3.3.1. Gramaje	12
3.3.2. Espesor	12
3.3.3. Resistencia a la tracción en seco	13
3.3.4. Elongación.....	13
3.3.5. Suavidad	13
3.4. Descripción del proceso para elaboración de papel tissue	13
3.4.1. Maquinaria.....	16
3.4.2. Cilindro Yankee.....	17
3.5. Variables de proceso en la fabricación del papel tissue	19
3.5.1. Coating	19
3.5.2. Mecánica de crepado.....	20
3.6. Estadística Descriptiva	24

4.	OBJETIVOS	27
4.1	Objetivo General.....	27
4.2	Objetivos Específicos.....	27
5.	METODOLOGÍA	28
5.1.	Recursos, Materiales y Equipos.....	28
5.2.	Procedimiento	28
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1.	Análisis de datos por estadística descriptiva	31
6.1.1.	PCA para Papel Higiénico 15 gsm.....	31
6.1.2.	Estandarización de datos mediante modelo de regresión para PH 15 gsm	34
6.1.3	PCA para Papel Higiénico fino 21 gsm.....	36
6.1.4	Estandarización de datos mediante modelo de regresión PH fino 21 gsm.....	39
6.2	Análisis de los elementos mecánicos en el crepado de papel.....	42
6.2.1	Análisis de cuchillos en la fabricación de Papel Higiénico fino 21 gsm	42
6.3	Análisis de cortaduras en el proceso	44
6.3.1	Papel Higiénico fino 21 gsm.....	44
6.3.2	Papel Higiénico 15 gsm.....	46
6.4	Evaluación de información para el cuidado del cilindro Yankee	48
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
7.1.	Conclusiones.....	50
7.2.	Recomendaciones.....	51
8.	REFERENCIAS	52
9.	ANEXOS	54
9.1	ANEXO 1: Máquina papelera Valmet Advantage NTT 200HS	
9.2	ANEXO 2: Análisis de Componentes Principales	
9.3	ANEXO 3: Regresión Lineal Múltiple	
9.4	ANEXO 4: Variables de proceso para Análisis de Componentes Principales.	
9.5	ANEXO 5: Análisis de Cortaduras PH 15 gsm	
9.6	ANEXO 6: Análisis de Cortaduras PH fino 21 gsm	

NOMENCLATURA

gsm	Gramos por metro cuadrado (sigla en inglés)
lb	libras
ft	pies (Sistema Inglés de medidas)
HF	hand feel (sigla en inglés)
TSA	Tissue Softness Analyzer
ISO	Organización Internacional de Normalización
CPs o PCs	Componentes principales
PH	Papel Higiénico
PCA	Análisis de componentes principales

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Producción de los principales tipos de papeles a nivel nacional (<i>Fuente: Infor 2018</i>)....	6
Figura 2. Crecimiento global de la industria de papel tissue (Uutela, 2018).....	8
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso en FPC Tissue	15
Figura 4. A) Sección transversal del cilindro Yankee con el sistema de vapor y condensado en su interior. B) Ranuras y chupadores al interior del cilindro Yankee. C) Funcionamiento de los chupadores retirando el condensado (<i>Fuente: Material entrenamiento FPC Tissue</i>).	18
Figura 5. Representación gráfica de la <i>Chilling shower</i> junto al Cilindro Yankee.	20
Figura 6. A) Distribución de los cuchillos actuando sobre el cilindro Yankee. B) Diagrama esquematizado del comportamiento del coating y crepado.	22
Figura 7. Geometría del Crepado (Hernández et. al, 2010).....	22
Figura 8. Explicación esquemática de la geometría de crepado.	23
Figura 9. Elementos de accionamiento mecánico de cuchillo crepador.....	23
Figura 10. Representación gráfica de los CPs con las rectas que minimizan las distancias ortogonales (Dunn, 2019).	25
Figura 11. <i>Loading plot</i> típico para PCA.	26
Figura 12. Gráfica de sedimentación para componentes de PH 15 gsm.	32
Figura 13. <i>Score plot</i> del CP ₁ y CP ₂ para PH 15 gsm obtenido del análisis de PCA.....	33
Figura 14. <i>Loading plot</i> de CP ₁ y CP ₂ para PH 15 gsm obtenido del análisis de PCA.....	33
Figura 15. Gráfica de sedimentación para componentes de PH fino 21 gsm.....	38
Figura 16. <i>Score plot</i> para CP1 y CP2 para PH fino 21 gsm obtenido desde PCA.	38
Figura 17. <i>Loading plot</i> para PH fino 21 gsm obtenido desde PCA.....	39
Figura 18. Análisis del uso de cuchillo cerámico mes Marzo 2019 y su efecto en la suavidad. ...	43
Figura 19. Análisis del uso de cuchillo cerámico mes Abril 2019 y su efecto en la suavidad.	44
Figura 20. Diagrama de Pareto general de cortes período Marzo – Abril 2019 PH fino 21 gsm. 45	
Figura 21. Diagrama de Pareto de cortes para Marzo – Mayo 2019 para PH 15 gsm.	47
Figura 22: Planilla <i>check list</i> aplicable a PH 15 gsm y PH fino 21 gsm.	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción mundial de papel por región.	6
Tabla 2. Principales países productores de pulpa y papel en el mundo.	7
Tabla 3. Producción mundial de papel según su uso.....	7
Tabla 4. Producción, consumo y tasa de crecimiento mundial de papel Tissue (Uutela, 2018).....	8
Tabla 5. Principales procesos de fabricación de pulpa, materias primas, rendimientos y usos finales de las pulpas mecánicas (BREF, 2010; Ek et al., 2009).....	10
Tabla 6. Comparación entre pulpa química y pulpa mecánica para industria papelera (CEPI, 2019; Bajpai, 2015; Bajpai, 2016)	11
Tabla 7. Propiedades de los aditivos químicos de coating (Suma Badajoz, 2006).....	19
Tabla 8. Interpretaciones del crepado y comportamiento del coating.....	21
Tabla 9. Varianza acumulada extraída del PCA para PH 15 gsm.....	31
Tabla 10. Estadística de la regresión lineal múltiple, inicial y ajustado para PH 15 gsm.....	34
Tabla 11. Datos históricos de proceso y suavidad predicha por modelo ajustado de regresión lineal múltiple para PH 15 gsm.	36
Tabla 12. Varianza acumulada extraída del PCA para PH fino 21 gsm.....	37
Tabla 13. Estadística de la regresión lineal múltiple, inicial y ajustado para PH fino 21 gsm.....	40
Tabla 14. Datos históricos de proceso y suavidad predicha por modelo ajustado de regresión lineal múltiple para PH fino 21 gsm.	41
Tabla 15. Uso de cuchillo cerámico en el mes de Marzo 2019.	42
Tabla 16. Uso de cuchillo cerámico para el mes de Abril 2019.	43
Tabla 17. Causas de cortes identificados en período Marzo – Abril 2019 para PH fino 21 gsm. .	45
Tabla 18. Causas de cortes identificadas en el período Marzo – Mayo 2019 para PH 15 gsm.	47

1. INTRODUCCIÓN

FPC Tissue S.A es una empresa dedicada al rubro papelerero, ubicada en la comuna de Coronel, región del Bío-Bío, específicamente en el Parque Industrial Escuadrón II Km 17,5 de la Ruta 160. Esta empresa cuenta con una línea productiva que tiene una capacidad de producción aproximada de 160 ton/día de Papel Tissue. En su proceso productivo utiliza como materia prima celulosa blanqueada 100% virgen, proveniente de CMPC Celulosa, Planta Santa Fe, Nacimiento (*Eucalyptus globulus*) y pulpa kraft blanqueada de *Pinus radiata* proveniente de Celulosa Arauco - Planta Nueva Aldea y de CMPC Celulosa - Planta Pacífico, Angol.

Los principales productos que se fabrican son papeles del tipo higiénico y toalla, en diferentes gramajes, dependiendo de las especificaciones requeridas por el cliente. El proceso de fabricación de los productos mencionados se divide en 3 etapas: materias primas, extremo húmedo y extremo seco. FPC Tissue S.A cuenta con equipamiento de última tecnología para la fabricación de papel tissue. La máquina papelera Valmet Advantage NTT 200HS, es la segunda máquina instalada a nivel mundial al año 2013, mismo año en que comienza a operar en las dependencias de FPC Tissue S.A. Esta máquina papelera es encargada de convertir la celulosa blanqueada (previamente refinada) en papel tissue. El corazón de la máquina papelera es el cilindro Yankee. A grandes rasgos, en este equipo se procesa la materia prima desde el extremo húmedo, reduciendo la humedad gracias al sistema incorporado, pasando por *pope* donde se forman los jumbos que luego son embalados para ser guardados en bodega esperando ser distribuidos, o luego de *pope* pueden pasar por bobinadora, para reducir diámetro y modificar su formato.

Existen características específicas dentro del proceso productivo para fabricar papel tissue y que determinan las propiedades finales del producto, tales como procedencia y tipo de materias primas, dosificación de los aditivos de coating, el sistema de crepado junto a sus elementos mecánicos, variables de proceso, entre otros (velocidad del cilindro Yankee, temperatura de la superficie del cilindro, pH de la pulpa, temperatura *chilling shower*), las cuales influyen fuertemente en las propiedades medibles del papel, tales como: gramaje, espesor, resistencia en seco (longitudinal y transversal), elongación y suavidad, y con esto diferenciar el tipo de papel producido, por sus características físicas en el mercado de otros productos, ya sea como papel higiénico o toalla.

En la búsqueda de mejorar procesos y productos, FPC Tissue cuenta con un plan de mejora continua denominada “Plan 5000”. El Plan 5000 tiene como objetivo principal el aumentar la producción de la máquina a 5000 toneladas por mes (de ahí el nombre). En el mes de Abril de 2019, el rendimiento de la maquina fue superior al 80 %, con una producción mensual de 4000 toneladas, todo gracias a mejoras implementadas por el equipo de trabajo formado por profesionales con vasta experiencia en el rubro tissue. Las estrategias aplicadas por el Plan 5000, son el uso de protocolos normalizados de como operar la máquina, *check list* antes de comenzar la producción y utilización de planilla tipo (*troubleshooting*) como barrido previo a las partidas de máquina resolviendo los problemas que se presentan. Otro de los objetivos que tiene el Plan 5000, es la realización de pruebas industriales, para mejorar, por ejemplo, la suavidad en papeles texturizados, resistencia en toallas y mejoras en las dosificaciones de aditivos de *coating* en los distintos papeles fabricados.

En el marco del Plan 5000 implementado en FPC Tissue, se desarrolla la presente Habilitación Profesional, donde el objetivo será evaluar el impacto del coating respecto a la dosificación de sus aditivos y la mecánica del crepado en la fabricación de papel tissue, considerando algunas variables operacionales enfocados en la fabricación de Papel Higiénico (PH) 15 gsm (gramos por metro cuadrado, por su sigla en inglés) y Papel higiénico texturizado fino 21 gsm, centrando el estudio en la disminución de los cortes excesivos de hoja para el caso de PH 15 gsm y mejora en la suavidad para ambos casos.

2. PLANTEAMIENTO SITUACIÓN PROBLEMA

FPC Tissue cuenta con la última tecnología para la fabricación de papel tissue, la máquina papelera Valmet Advantage NTT 200HS. En este equipamiento ocurre la transformación de la pulpa química en papel tissue (previamente refinada y tratada). Esta transformación se produce gracias a las vestimentas de la máquina, que permiten la formación de la hoja y que finaliza con el secado en el cilindro Yankee, que es el corazón de la máquina. Sin embargo, para la formación de la hoja es necesario la existencia de una buena adhesión entre la hoja de papel y la superficie del cilindro Yankee, por tanto, se requiere de un recubrimiento en el manto que se conoce como capa de coating. El coating es un set de aditivos químicos que cumple 2 funciones principalmente: 1) actúa como recubrimiento en el cilindro Yankee evitando desgaste del manto, y 2) genera la adhesión de la hoja al manto del cilindro. El coating está compuesto por 4 aditivos: PVOH, Adhesivo, Modificador y Release, cuyas funciones son descritas más adelante.

En la producción de Papel Tissue existen productos de interés que representan mayor volumen respecto al volumen total producido, en el período Marzo – Mayo 2019, estos son: Papel higiénico 15 gsm (38,6%) y Papel higiénico texturizado fino 21 gsm (21,8%). Por lo que evaluar el impacto de la dosificación del paquete de coating en los productos mencionados, considerando su importancia en el volumen de producción, sería una oportunidad de mejora que a la vez permitiría evitar los cortes de hoja en el PH 15 gsm y mejorar las características del papel producido.

Por otro lado, el crepado en el papel, es una acción mecánica aplicada en máquina definida simplemente como la ruptura controlada de los enlaces entre fibras por el impacto de la hoja, desplazada a alta velocidad, en una cuchilla estacionaria, esto permite diferenciar al papel tissue de los otros tipos de papeles otorgándole propiedades únicas, gracias al cuchillo crepador. Para que la hoja se desprenda del cilindro de manera eficiente, la adhesión entre la hoja y el cilindro debe ser lo bastante resistente y acompañada de una regulación de ángulos en los cuchillos (crepador y limpiador).

De acuerdo al levantamiento de la información de producción histórica y analizando los datos actuales, se busca regular el ángulo del cuchillo crepador con el fin de mejorar su desempeño y con ello aumentar la suavidad entre un 1 a 5% para el PH texturizado fino 21 gsm.

Considerando el escenario del proceso productivo para la fabricación de papel tissue, en esta Habilitación Profesional se incluirá la incorporación de una ficha del cuidado del cilindro Yankee, mediante la elaboración de protocolos, debido a que esta zona de la maquina papelera es clave para la proceso productivo, y actualmente no existen protocolos y/o normas a seguir, y que a su vez relacione el cuidado del cilindro Yankee con las condiciones actuales de operación para la fabricación de papel tissue, específicamente, en sus variables operacionales.

El estudio del impacto del coating en la fabricación del papel tissue, en conjunto con la mecánica de crepado en el proceso y la implementación de un protocolo de cuidado del cilindro Yankee, serán los principales objetivos que abordará esta Habilitación Profesional. Mediante el levantamiento de información histórica de variables de procesos, el análisis de datos mediante estadística descriptiva (PCA) e identificación de mejoras del proceso productivo, serán las principales actividades que se desarrollan para dar cumplimiento a la problemática planteada con miras a ser un aporte en el Plan 5000 de la empresa FPC Tissue S.A.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Industria Papelera

3.1.1. Nivel nacional

La industria papelera está ligada a la transformación tanto química como mecánica de la celulosa para formar una delgada hoja de papel, a la que se le da distintos usos: papel de periódico, papel de impresión, papel de escritura, papel de embalaje, papel tissue y otros tipos (Ek et al., 2009).

Entre los papeles que fabrica la industria papelera se encuentra el papel de uso doméstico y sanitario, o también llamado papel tissue. El papel tissue es el papel más ligero fabricado a partir de celulosa de pulpa química o quimiotermomecánica (CTMP) (Teschke, 1998), ya que el gramaje varía entre 12 y 50 g/m². Existen otros tipos de papeles que son fabricados a partir de celulosa, como el papel para escritura e impresión, que tiene un gramaje aproximado de 80 g/m² y los papeles para embalaje y fabricación de envases que pueden llegar a hasta un gramaje de 300 g/m² (Boudreau, 2013). Estos tipos de papeles se fabrican dependiendo los usos específicos y son fabricados en el rubro de la industria papelera (Ek et al., 2009). A nivel nacional, desde el año 1980 hasta 2017 la producción de papeles y cartones es clasificada en 3 grandes grupos de papeles, estos son: 1) papeles para impresión y escritura, 2) papeles para envolver y para fabricación de envases y 3) papeles de uso doméstico y sanitario, siendo este grupo en el que se involucra el papel tissue (Glysling et al., 2018).

En la Figura 1, se observa la producción histórica de diferentes papeles, y se destaca el aumento en el volumen de producción del papel de uso doméstico y sanitario o también denominado papel tissue. En el año 2000 la producción de este tipo de papel tuvo una producción de 109.000 toneladas, aumentando su volumen de producción a 176.500 toneladas al año 2017. Estos antecedentes han sido resaltados con otros autores donde señalan el crecimiento en la producción de este tipo de papel, y que este crecimiento ha sido de un 62 % aproximado en los últimos 17 años a nivel nacional (Glysling et al., 2018).

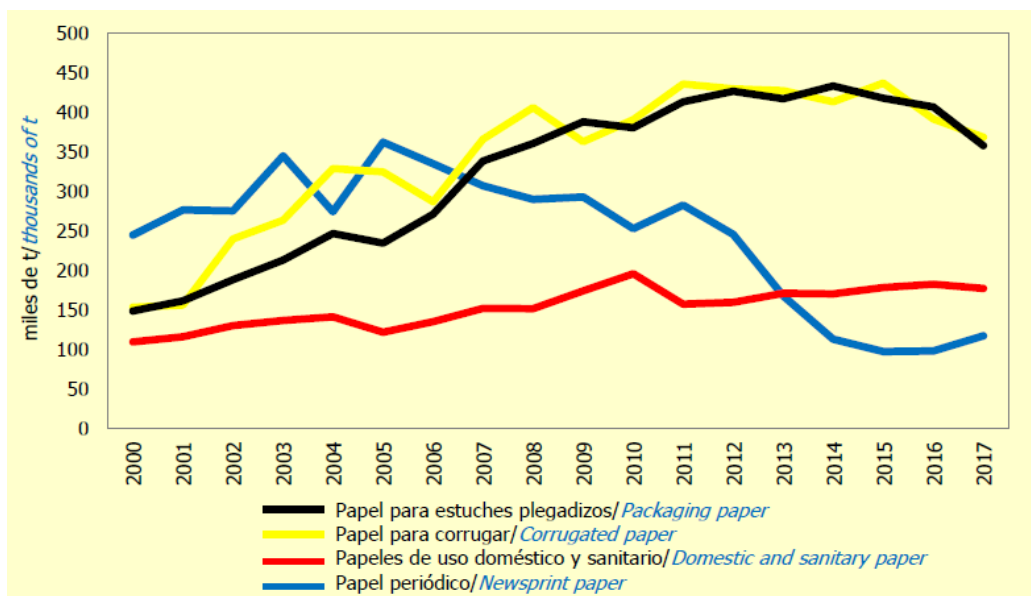


Figura 1: Producción de los principales tipos de papeles a nivel nacional (Fuente: Infor 2018)

3.1.2. Nivel internacional

A nivel internacional, la industria del papel ha experimentado un crecimiento, posicionándose como una de las grandes industrias, con altas inversiones de capital. El crecimiento es más rápido en Asia, esto se debe principalmente a la rápida expansión de la industria china. La producción total de papel del mundo ascendió a 403 millones de toneladas al año 2013, donde Asia representa el 45% (179 millones de toneladas) de la producción de papel, le siguen Europa (107 millones de toneladas) y América del Norte (85 millones de toneladas) como productores importantes en el mundo, la tabla 1 muestra el escenario en el mundo del papel (Bajpai, 2015).

Tabla 1. Producción mundial de papel por región.

Región	Producción de papel (%)
Asia	45
Europa	27
Norte América	21
Latino América	5
Oceanía	1
África	1

Fuente: RGB Grafisk, 2009

Respecto a la producción de papel por región, el continente asiático tiene mayor influencia, y esto principalmente se debe a que China tiene una producción anual de papel y pulpa de 99,3 millones de toneladas, la más alta de cualquier país del mundo y Japón tiene la tercera producción más grande de papel y celulosa en el mundo, que se estima en más de 26,6 millones de toneladas cada año, siendo su compañía con mayor producción de papel Oji Paper, reconocida a nivel mundial (RGB Grafisk, 2009; Ripleybelieves, 2019). La Tabla 2 resume los principales productores de papel y pulpa a nivel internacional, mientras que en la Tabla 3 se muestra la producción mundial por tipo de papel según su uso.

Tabla 2. Principales países productores de pulpa y papel en el mundo.

Rango	País	Producción (mill ton/año)
1	China	99,3
2	Estados Unidos	75,1
3	Japón	26,6
4	Alemania	22,7
5	Canadá	12,1
6	Corea del Sur	11,5
7	Finlandia	11,3
8	Suecia	11,3
9	Brasil	10,2
10	Indonesia	10,0

Fuente: Ripleybelieves, 2019

Tabla 3. Producción mundial de papel según su uso.

Tipo de Papel	Producción Mundial (%)
Papel corrugado	37
Papel de impresión y escritura	30
Cartón para embalaje	13
Papel doméstico y sanitario	8
Papel periódico	7
Otros papeles	5

Fuente: RGB Grafisk, 2009

En relación al consumo de papel, se estima que a nivel mundial en 2025 ascenderá a 500 millones de toneladas. Esto significa un crecimiento de alrededor del 1,6% al año. Asia, lidera el consumo mundial de papel con un 46%, le siguen Europa y Norte América con un 24% y 20% respectivamente y la lista de mayores consumidores de papel a nivel mundial la cierran Latino América (7%), Oceanía (2%) y África (1%) (Bajpai, 2015).

Es importante destacar el consumo de papel Tissue en el año 2017, que alcanzó las 37,7 millones de toneladas y que respecto a 2016, aumentó en casi 1,4 millones de toneladas. China sigue siendo el principal motor de la expansión del mercado mundial del tissue. En los últimos años, representó más del 40% del crecimiento del volumen en el consumo de papel tissue en todo el mundo, y en 2017 su participación fue del 45%, lo anterior se desglosa en la Figura 2, que demuestra el crecimiento global del papel tissue (Uutela, 2018).

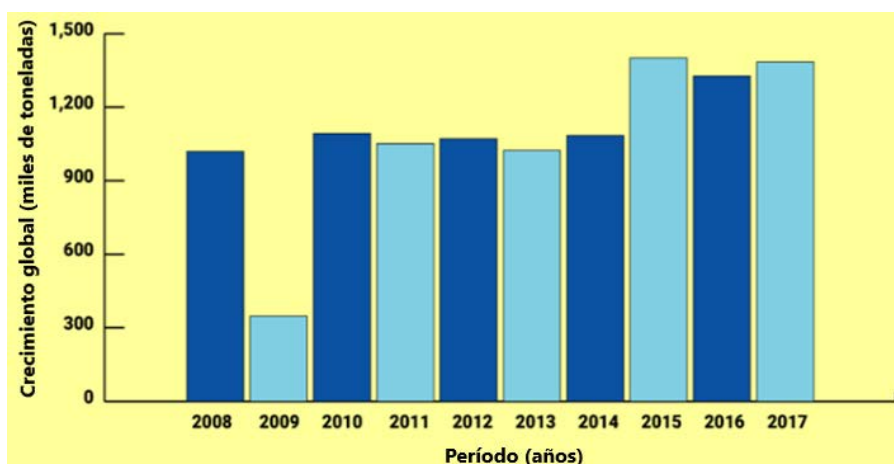


Figura 2. Crecimiento global de la industria de papel tissue (Uutela, 2018).

En la Tabla 4 se resume el escenario mundial de producción y consumo de papel Tissue, evidenciando la importancia respecto al crecimiento de este mercado.

Tabla 4. Producción, consumo y tasa de crecimiento mundial de papel Tissue (Uutela, 2018).

Región	Consumo 2016 (ton)	Producción 2017 (ton)	Consumo 2017 (ton)	Aumento volumen 2017 (ton)	Crecimiento 2016/2017 (%)
Norteamérica	9.087	8.765	9.264	177	1,9
Europa Oriental	6.669	6.619	6.756	87	1,3
Europa del Este	1.984	2.087	2.077	93	4,7
América Latina	4.026	4.075	4.192	166	4,1

Medio Oriente	1.465	1.573	1.515	50	3,4
Japón	1.983	1.789	1.984	1	0,1
China	7.731	9.234	8.360	629	8,1
Asia Lejano Oriente	2.185	2.493	2.284	99	4,5
África	776	774	840	64	8,2
Oceanía	440	255	458	18	4,1
TOTAL	36.346	37.664	37.730	1.384	3,8

La producción y el consumo de papel a nivel mundial están restringido por la producción de pulpa como materia prima para su fabricación. Con este escenario en cuestión, la producción total de pulpa en el año 2012 fue de 181 millones de toneladas, con la producción de pulpa química (72%), pulpa mecánica (20%) y otras pulpas (8%) para ser utilizadas en el proceso como materia prima principalmente, por tal razón, es importante conocer acerca de la pulpa química y pulpa mecánica ya que son las más utilizadas en la fabricación de papel (Uutela, 2018).

3.2. Materias primas para la producción de papel

3.2.1. Pulpa química

La pulpa química es producto del pulpaje kraft, en este proceso la lignina de la madera se disuelve químicamente (desde la lamela media) que actúa como material cementante uniendo las fibras de celulosa. El pulpaje kraft genera la separación de las fibras (Santos et al., 2011), mediante la acción del licor blanco, en un equipo denominado digestor que procesa los chips de madera, previamente tratados, transformándolos en pulpa a alta temperatura (160-170 °C) y presión (7-8 bar) con un 44 a 50,6% de rendimiento pulpable (Díaz-vaz, 2012). El proceso de pulpaje kraft es el método de fabricación de pulpa de celulosa más importante y representa el 70% de la producción a nivel mundial (Hagbert et al., 2015).

Según las estadísticas llevadas por el INFOR (2018), en Chile existen 11 plantas que producen pulpa, con una capacidad instalada total de 5,82 millones de toneladas, de las cuales 5,25 millones de toneladas corresponden a pulpa química (Bahamondez, 2017), es decir, que el mercado chileno está altamente influenciado por la producción de pulpa química.

3.2.2. Pulpa mecánica

A parte de la pulpa química, que presenta el mayor volumen de producción en territorio nacional, se produce en un 10% aproximadamente la pulpa mecánica (Bahamondez, 2017). La pulpa

mecánica proviene de madera que se muele contra una piedra desfibradora llamada molino de piedra, que está en rotación lubricada con abundante agua y cuya superficie es abrasiva. El calor generado por la molienda suaviza la lignina que une las fibras, pero no la elimina, sin embargo, el principal inconveniente de este proceso es el deterioro en las fibras, obteniendo pastas con menor resistencia (CEPI, 2019; Bajpai, 2016). La mezcla de fibras y fragmentos de fibra es lo que le da a la pulpa mecánica sus propiedades de impresión favorables (BREF, 2010), sin embargo, las pulpas mecánicas tienen una baja resistencia al envejecimiento, es decir con alta reversión del color.

A pesar de que la pulpa mecánica tiene deficiencias, su obtención es menos costosa que la pulpa química, además, la gran ventaja de la fabricación de pulpa mecánica es que produce rendimientos mucho más altos que los procesos de fabricación de pasta química (hasta 97%) (BREF, 2010). Los principales procesos y técnicas de obtención de pulpa mecánica son, la pulpa de madera molida con piedra (SGW, sigla en inglés), la pulpa de madera molida a presión (PGW), la pulpa termomecánica (TMP) o la pulpa quimiomecánica (CTMP) (Bajpai, 2016). Los principales procesos de fabricación de pulpa, materias primas, rendimientos de la madera y usos finales de las pulpas se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Principales procesos de fabricación de pulpa, materias primas, rendimientos y usos finales de las pulpas mecánicas (BREF, 2010; Ek et al., 2009).

Proceso de fabricación de pulpa	Materias primas	Rendimiento del proceso	Usos típicos finales
Stone Groundwood (SGW)	Maderas blandas	95 – 97%	Papel para imprimir y escribir y papel para diario.
Thermomechanical pulping (TMP)	Maderas blandas	93 – 95%	Papel para imprimir y escribir y papel para diario.
Chemi-Thermomechanical pulping (CTMP)	Abeto, álamo y haya, NaOH, SO ₂ y H ₂ O ₂	90 – 94%	Papeles de impresión y escritura, tissue y embalaje.

Otros usos que tiene la pulpa mecánica en la industria papelera son los papeles de revista, papel de libro, papel de oficina y algunas empresas fabrican papel tissue (Ek et al., 2009).

Debido a los grandes volúmenes de pulpa química producida en territorio nacional y al uso de pulpa mecánica en algunas plantas hasta estos días, la Tabla 6 resume de forma comparativa ambas pulpas demostrando sus fortalezas y diferencias para cada una de ellas.

Tabla 6. Comparación entre pulpa química y pulpa mecánica para industria papelera (CEPI, 2019; Bajpai, 2015; Bajpai, 2016)

Tipo	Pulpa Mecánica	Pulpa Química
Proceso	1) La madera se muele contra una piedra giratoria lubricada con agua. 2) El calor generado por la molienda suaviza la lignina que une las fibras y las fuerzas mecanizadas separan las fibras para formar una pulpa. 3) La mayor parte de la pulpa mecánica se produce mediante alguno de los métodos como SGW, TMP, CTMP. 4) La pulpa mecánica consiste en una mezcla de fibras enteras y fragmentos de fibras de diferentes tamaños. 5) La pulpa mecánica le da al papel un tono amarillento / gris con alta opacidad y una superficie muy suave.	1) Los troncos, sin corteza, se <i>chipean</i> para luego cocer con productos químicos a altas presiones y temperatura. 2) La cocción elimina la lignina y separa la madera en fibras de celulosa. 3) La mayor parte de la pulpa química se produce mediante el proceso Kraft, en el que los reactivos, hidróxido de sodio y sulfuro de sodio "cocinan" las astillas de madera. 4) En el proceso kraft, se disuelve entre un 45 a 52% de la madera a lo que se llama licor negro. La pulpa cocida se lava y se tamiza para lograr una calidad más uniforme. El licor negro se separa de la pulpa antes del proceso de blanqueo. 5) En la etapa sin blanquear, se obtiene una pulpa de color marrón oscuro pero muy fuerte y se puede blanquear si es necesario (aprox. 90 %ISO).
Consumo de energía	1000 kW/tonelada de pulpa	Autosuficiente
Rendimiento (de material de madera)	95 – 98%	45 – 52%
Longitud de la fibra	Fragmentos de fibra de diferentes tamaños.	Fibras principalmente más largas
Fuerza de papel	Bajo	Alto
Comparación	La pulpa química para producir papel es más costosa que la pulpa mecánica o papel recuperado, pero tiene mejores propiedades de resistencia y blancura. La pulpa Kraft de madera blanda, se utiliza para proporcionar la resistencia necesaria cuando se producen papeles más ligeros. Los papeles finos (los papeles de copia o los escritos) son un ejemplo del tipo de papel producido principalmente	

	<p>a partir de pulpa de madera dura, que se refuerza con una pequeña cantidad de pulpa kraft de madera blanda más resistente y más costosa. El pino y el abeto proporcionan la pulpa más fuerte (kraft de madera blanda), mientras que el kraft de madera dura se produce a partir de abedul, eucalipto, álamo, acacia y muchas otras especies tropicales mixtas.</p>
--	---

Como el papel tissue, es uno más de los tantos derivados de la celulosa (Ek et al., 2009) con alto impacto en el mercado y que se ha convertido en una necesidad básica (Bajpai, 2015), por lo descrito anteriormente, es necesario caracterizarlos por sus usos y por sus propiedades, ya que, alguno de los tipos más importantes de papeles tissue son los papeles higiénicos de sanitario y los papeles con resistencia en húmedo como toallas de cocina, pañuelos de papel, servilletas, toallitas, etc (Ek et al., 2009).

3.3. Características y propiedades específicas del papel tissue

El papel tissue se caracteriza del resto de los papeles por sus propiedades físicas medibles, que determinan su calidad final. Las propiedades y calidad de este tipo de papel se detallan en los siguientes items.

3.3.1. Gramaje

Se define como la masa por unidad de área, además incluye la cantidad de agua en el papel en las condiciones climáticas existentes. El gramaje, en el sistema inglés, se define como la masa en libras por mil pies cuadrados (lb/1000 ft²), mientras que en el sistema internacional corresponde a gramos por metro cuadrado (g/m²). La norma utilizada para determinar el gramaje en el papel tissue es la Norma TAPPI T410 om-08.

3.3.2. Espesor

El espesor es una propiedad fundamental del papel, ya que tiene un impacto importante en la rigidez a la flexión y, por otro lado, se debe considerar un perfil de grosor uniforme para que el rollo de papel tenga un perfil transversal uniforme, puesto que influye en el funcionamiento del papel y en otras situaciones de conversión secundarias. La metodología de medición de espesor para papel tissue se basa en lo establecido en la norma ISO 12625 – 3.

3.3.3. Resistencia a la tracción en seco

La resistencia a la tracción es la fuerza máxima relacionada con el ancho de la pieza de prueba. La norma ISO 12625-4 detalla el método de prueba para la determinación de la resistencia a la tracción, el estiramiento a la rotura y la absorción de la energía de tracción del papel tissue y sus productos. Además, la norma indica el método de cálculo del índice de tracción y el índice de absorción de energía de tracción. La medición se realiza con un trozo de papel tissue o uno de sus productos a ensayar, de dimensiones establecidas, y este se estira hasta el máximo posible a una tasa constante de alargamiento utilizando un equipo que mide y registra la fuerza de tracción en función del alargamiento de las piezas ensayadas.

3.3.4. Elongación

La elongación del papel tissue es un parámetro derivado de la resistencia a la tracción, funciona con una tasa constante de alargamiento, el cual indica el valor de elongación justo antes del momento en que el papel se rompe. Al igual que la medición de resistencia a la tracción en seco, que se describe en el punto 3.3.3, se utiliza la norma ISO 12625-4 para realizar esta medición.

3.3.5. Suavidad

La suavidad corresponde a una propiedad física del papel tissue, que consiste en la lisura y blandura del papel percibida por el tacto. Su unidad de medida es el HF (*hand feel*, por su sigla en inglés). La suavidad se mide directamente en la hoja por el lado correspondiente a la cara Yankee del papel. Esta característica no tiene un protocolo estandarizado por norma alguna, que permita realizar mediciones, por lo tanto, se adoptó el uso de un instructivo propio en planta para la medición de suavidad con el equipo Emtec TSA (*Tissue Softness Analyzer*).

De esta forma, FPC Tissue realiza mediciones permitiendo estar en los estándares y ofrecer a sus clientes un producto de calidad y con las propiedades requeridas.

3.4. Descripción del proceso para elaboración de papel tissue

El proceso de FPC Tissue se caracteriza por tener 3 etapas: materias primas, extremo húmedo y extremo seco. A su vez, estas etapas contemplan una sección acotada, que, para el caso de materias primas, comienza al momento que se agregan los fardos de celulosa blanqueada en las correas transportadoras, hasta que estos fardos ingresan en los pulper. La sección de extremo húmedo contempla desde la preparación de la pulpa en los pulper hasta que la pulpa ya refinada ingresa a

la máquina en los cajones de entrada. Finalmente, la sección del extremo seco contempla lo ocurrido en la máquina hasta que se enrolla el papel en *pope* (Figura 3).

El proceso de elaboración de papel tissue, en particular en las instalaciones de FPC Tissue, se observa en la figura 3, representado en un diagrama de bloques del proceso, desde materia prima hasta que se produce el jumbo en la máquina papelera.

El inicio del proceso, ocurre con la incorporación de las materias primas (celulosa blanqueada y rechazos) en tres líneas, disgregándose en los pulpers con agua blanca proveniente del tanque 132T-001, la pulpa se almacena en los tanques correspondiente para cada línea, para luego pasar por los depuradores, una vez hecha la limpieza la pulpa llega a los refinadores, en donde se incrementa los puntos de contactos entre las fibras e interacciona con los reactivos químicos que se aplican para control de demanda iónica de consistencia. Luego de refinar la pulpa, esta pasa a los tanques mezcla, donde se le agrega suavizante como agente de resistencia para posteriormente ser refinada en el llamado refinador cabecero, que actúa como refinación de control. La pulpa que sale del refinador cabecero, se almacena en los tanques máquina. Luego, la pulpa pasa por el circuito de aproximación, que corresponde a la sección final del extremo húmedo y contempla el ingreso de la pulpa a los cajones de entrada cara capota y cara yankee, donde comienza la formación de la hoja de papel que termina con el formato de jumbo enrollado en *pope*. Existen etapas importantes las cuales se describen en las siguientes secciones.

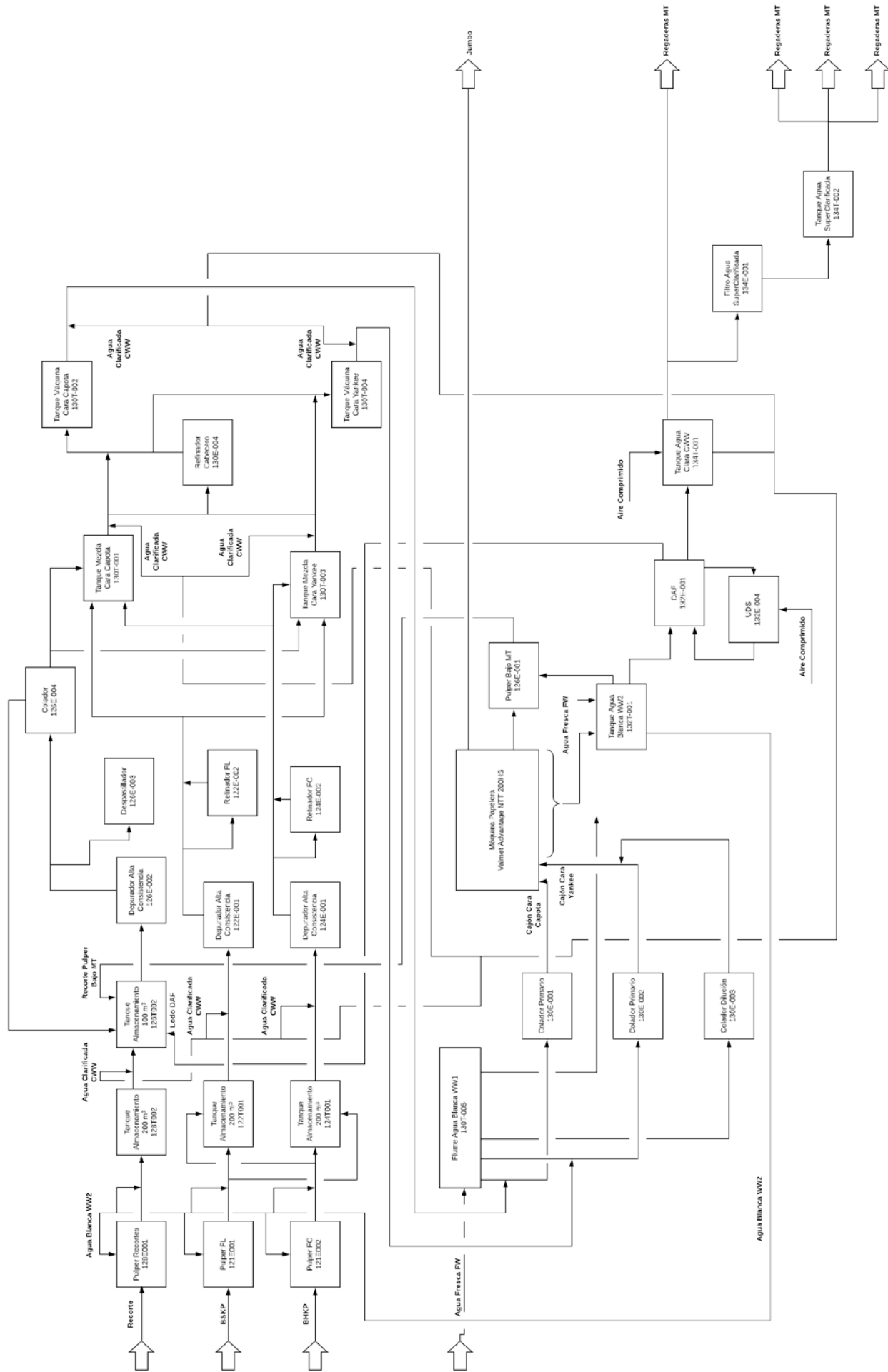


Figura 3. Diagrama de bloques del proceso en FPC Tissue

3.4.1. Maquinaria

El proceso de FPC Tissue se caracteriza por tener tecnología de punta que proporciona un papel de calidad y alto estándar dentro del rubro de papeles tissue. La Figura A.1.1.1 del ANEXO 1, muestra una vista esquematizada basada en la realidad de la máquina Valmet NTT 200HS Advantage, teniendo visibilidad de las secciones que esta presenta.

La pulpa de celulosa que proviene del extremo húmedo, ya procesada y refinada llega a los cajones de entrada de la máquina, tanto a Cara Capota (CC; cara superior del papel que está en contacto con la capota de la máquina y que otorga resistencia al papel) como a Cara Yankee (CY: cara inferior del papel que está en contacto con la superficie del cilindro y que otorga suavidad al papel), con una consistencia de 0,1 – 0,5%. La pulpa alimenta al rodillo formador que se envuelve por la tela, y forma la hoja de papel. La hoja sigue un circuito cerrado por la tela formadora, compuesto por 5 rodillos envolviéndose en ellos, inicia en el rodillo formador, luego pasa por el rodillo de salida y sigue por el rodillo guía, para pasar posteriormente por el rodillo tensor de la tela y por el rodillo de pecho, finalizando en el rodillo formador nuevamente.

Una vez que llega al rodillo formador de la tela, finaliza el drenaje y la hoja formada se va con el fieltro mediante un rodillo de separación y una caja de transferencia. En el fieltro la hoja formada sigue su recorrido normal llegando al rodillo de succión, en el que gracias a una fuerza de succión sobre el fieltro permite que la hoja no se escape de su curso sino que siga el recorrido del fieltro, hasta encontrarse con los rodillos Symbelt y contra, el primero móvil y el segundo estático, en donde la hoja se va con la banda y entra a la sección llamada NTT (*New Tissue Technology*, su sigla en inglés, corresponde a la incorporación de una banda estructurada que permite obtener papeles premium con bajo consumo energético), debido a la tecnología que presenta la banda, ya que el propósito de esta sección es recibir una banda de papel convencional, para ser modificado a una banda de papel estructurado, mediante una fuerza aplicada entre el papel y una banda estructurada (Figura A.1.2.1, ANEXO 1).

En la sección NTT, se recibe la hoja de papel convencional en la banda estructurada, la hoja proviene del fieltro por acción del rodillo prensa Symbelt y un rodillo contra, al usar una fuerza aplicada (600 KN/m entre el fieltro, la banda de papel y una banda estructurada). El papel toma el diseño de la banda estructurada por medio de la fuerza aplicada en esta zona. La banda de papel estructurada al salir de la prensa symbelt se dirigido hasta la zona de rodillo prensa para ser

entregado gracias a una fuerza aplicada en el rodillo al cilindro Yankee (90 KN/m) en donde ocurrirá el secado de la hoja. Al momento que la hoja deja la banda, la humedad es cerca del 95% y al tener contacto con el cilindro Yankee comienza el secado de la hoja, esta se origina gracias a la sección de vapor y condensado en el interior del cilindro y que por transferencia de calor desde la superficie del Yankee hacia la hoja por la parte inferior baja la humedad entre un 3 y 5% al momento de salir hacia *pope*.

3.4.2. Cilindro Yankee

El cilindro Yankee, es el corazón de la máquina papelera, es la sección más importante del proceso de fabricación de papel tissue, y tiene 3 funciones principales: 1) transporta la hoja durante el proceso de secado que en él ocurre, 2) funciona como rodillo de presión contra prensa y 3) proporciona la base para el proceso de crepado. La Figura 4A muestra el funcionamiento del sistema de vapor y condensado al interior del cilindro, este permite el ingreso de vapor saturado a través del eje central, donde al momento de entrar en contacto con la superficie del manto, se condensa. El interior del cilindro cuenta con ranuras por donde circula el condensado y este es removido gracias a un *manifold* con tuberías largas de bajo diámetro denominadas *chupadores* (Figura 4B) que retiran el condensado del interior del cilindro (Figura 4C) y así evitan las pérdidas de calor. El vapor saturado tiene por función generar el calor suficiente para secar la hoja por transferencia hacia la superficie (mecanismo de transferencia de conducción). Las capotas, tanto del lado húmedo como lado seco (mecanismo de transferencia de convección y radiación), permite completar el secado de la hoja de papel de mejor manera.

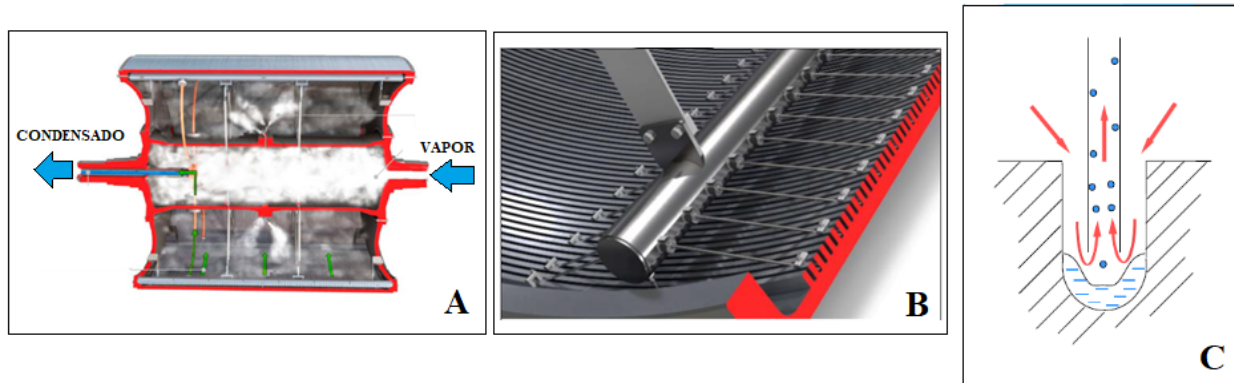


Figura 4. A) Sección transversal del cilindro Yankee con el sistema de vapor y condensado en su interior. B) Ranuras y chupadores al interior del cilindro Yankee. C) Funcionamiento de los chupadores retirando el condensado (*Fuente: Material entrenamiento FPC Tissue*).

El vapor saturado que ingresa acondiciona el cilindro y así, genera las condiciones necesarias para operar (temperatura entre 90 °C y 120 °C) y evitar defectos físicos en el papel. El cilindro Yankee, tiene características únicas que lo diferencian de las maquinas papeleras convencionales, una de ellas es la disminución de las etapas de secado y por lo tanto aumento en esta etapa utilizando solo un cilindro (considerar que el papel está en contacto con el cilindro menos de 1 segundo). Además, este equipo se considera como un equipo a presión, por lo que su sistema de vapor y condensado cuenta con mecanismos para aliviar las alzas de presión, como válvulas de seguridad. El cilindro tiene las siguientes dimensiones, diámetro de 5,5 m y el manto tiene una longitud de 6,2 m. Las características técnicas del cilindro permiten trabajar a presión de operación entre 6 – 9 bar. La producción es en promedio de 10 ton/h de papel producido, con consumo de energía de 5500 kW, y su tasa evaporación es de 100 – 230 kg agua /m², por hora. Se considera una vida útil del cilindro de 25 – 40 años.

Es posible que el cilindro se pueda proteger del desgaste y corrosión, ya que su superficie se debe ver nebulosa y no como espejo a la luz de linterna. Para conseguir este efecto, se debe aumentar la razón de coating aplicada sobre el cilindro (reactivos utilizados en el proceso), además se debe asegurar que el cilindro cuente con cobertura de coating adecuado para su buen funcionamiento.

3.5. Variables de proceso en la fabricación del papel tissue

3.5.1. Coating

El *coating* corresponde a un paquete de aditivos químicos que cumple 2 funciones principalmente: 1) actúa como recubrimiento en el cilindro Yankee evitando desgaste del manto, por ser una capa fina de origen orgánico/inorgánico, y 2) genera la adhesión de la hoja al manto del cilindro, ya que depende fuertemente de la capa de coating sobre el cilindro.

Su importancia radica en qué, el uso de esta capa o coating sobre el cilindro Yankee le otorga las propiedades específicas al papel tissue, que lo diferencian del resto de papeles. En un lenguaje sencillo, es necesario que la capa de coating sea lo más pegajosa posible para que la hoja se mantenga adherida al cilindro. Los aditivos de *coating* poseen una temperatura de transición vítrea (T_g), característico de los polímeros, una vez alcanzada en la T_g se obtiene la máxima pegajosidad. Es posible observar algunas desventajas en esta etapa, por ejemplo, si la hoja se transfiere al cilindro con un coating que no ha alcanzado su T_g , la adhesión es débil y se puede desprender. Incluso, si la hoja se adhiere muy posterior a la T_g , la adhesión se vuelve débil, porque el coating pierde adhesividad y genera la disminución de la pegajosidad entre la hoja y el cilindro. Por lo tanto, es necesario poner atención al perfil de humedad en esta zona, ya que podría causar aparición de franjas en el cilindro que pueden generar defectos en la hoja de papel (Hernández et al., 2010). El paquete de coating, se compone de cuatro aditivos químicos: PVOH, Adhesivo, Modificador y Release. Estos aditivos cumplen funciones específicas en el proceso y se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Propiedades de los aditivos químicos de coating (Suma Badajoz, 2006).

Aditivo	Propiedades
PVOH	<ul style="list-style-type: none"> - Buena cohesión y adhesión a las fibras - Actúa como barrera protectora de resistencia al agua sobre el cilindro.
Adhesivo	<ul style="list-style-type: none"> - Protección al manto del cilindro Yankee - Otorga una capa adhesiva entre la hoja y el cilindro
Modificador	<ul style="list-style-type: none"> - Ablanda la capa de coating - Ayuda a controlar la característica adhesiva de la capa de coating y las propiedades del papel - Modifica el espesor de la capa de coating - Amplía la ventana operacional de la capa de coating al mejorar el desempeño del papel

Release	<ul style="list-style-type: none"> - Lubrica, reduce el desgaste de la cuchilla crepadora - Ayuda a controlar la adherencia, debilitando el enlazamiento de polímeros - Controla el espesor de la capa de coating y bloquea los sitios de polimerización - Controla los aportes de coating natural y de los aditivos del extremo húmedo
---------	---

Estos aditivos conforman la capa externa que recubre el cilindro y está en contacto directo con el papel. Para que la solución de aditivos químicos sea vertida en el cilindro, se utiliza una regadera llamada “*Chilling shower*” o “*Spray boom*” y la función que cumple esta regadera es de *esprayar* la mezcla de coating a lo largo de todo el cilindro, de manera tal, que cubra toda la superficie generando la adhesión requerida (Figura 5).

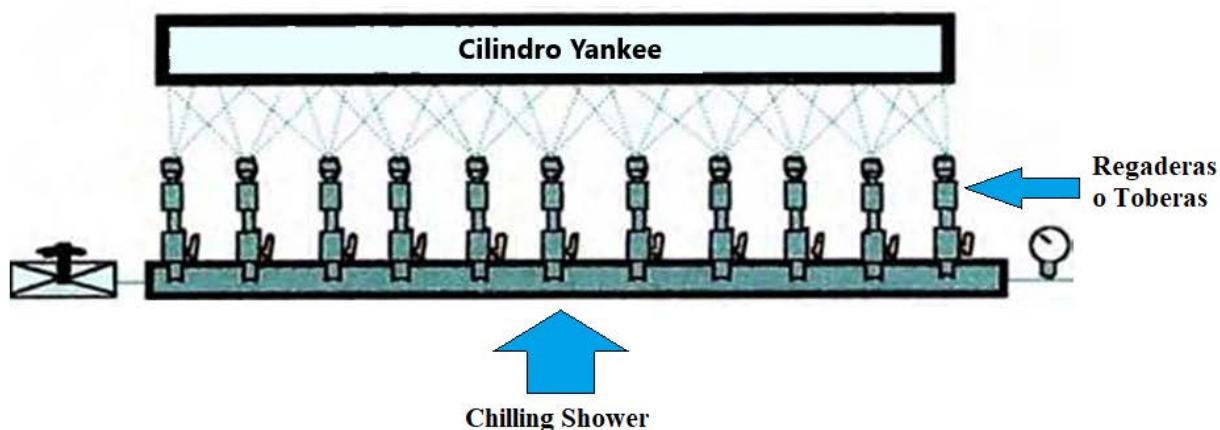


Figura 5. Representación gráfica de la *Chilling shower* junto al Cilindro Yankee.

La importancia de la *Chilling shower* es otorgar la cobertura para asegurar el correcto recubrimiento del cilindro. Existen tres formas de cobertura: simple, doble y triple, cada una depende del ángulo en que se proyecta el coating y la separación entre cilindro y regadera.

3.5.2. Mecánica de crepado

El *crepado* es una acción mecánica que imparte gran energía mecánica a la hoja, provoca ruptura en los enlaces de la fibra y arruga la estructura física de la hoja. Esta acción mecánica, generada por un cuchillo, sea metálico o cerámico, otorgará la suavidad, la adsorción, bulk (ó volumen específico) y espesor al papel tissue (Ek et al., 2009; Suma Badajoz, 2006). El crepado es una característica fundamental del papel tissue y que lo diferencia del resto de los papeles. Está ligada al coating, ya que, si existe un buen recubrimiento, facilitará la operación de crepado. Esta acción también tiene beneficios en el papel, ya que el crepado aumenta su superficie específica y abre las fibras, permitiendo mayor capacidad de absorción y mayor flexibilidad comparando con una hoja

de papel corriente. Si el cuchillo no penetra lo suficiente el recubrimiento, puede generar la ruptura de las fibras y, además, la rotura de la hoja ocasionando la discontinuidad del proceso. La Tabla 8 presenta las interpretaciones que tiene el crepado junto al comportamiento del coating, previamente descrito, y sus efectos en la suavidad del papel.

Tabla 8. Interpretaciones del crepado y comportamiento del coating.

Propiedades	Efecto
<ul style="list-style-type: none"> - Baja/No uniforme adherencia - Adhesión parcial puntual - Crepado saltado - Alto bulk 	NO PUEDE SER SUAVE
<ul style="list-style-type: none"> - Alta adherencia - Coating rígido y firme - Crepado suavizado - Bajo bulk 	SUAVE
<ul style="list-style-type: none"> - Alta adherencia - Coating suave - Crepado suavizado - Mayor elongación 	MAYOR SUAVIDAD

Para llevar a cabo la acción mecánica del crepado, se debe considerar un sistema de tres cuchillas principalmente: crepadora, limpieza y desviadora, como se muestra en la Figura 6A, cada una de ellas cumple una función específica en el proceso de *crepado*. La cuchilla crepadora es la encargada de desprender la hoja del cilindro, otorgando mayor suavidad y mayor bulk, a su vez al desprender la hoja, la cuchilla crepadora libera parte del recubrimiento del manto que se vuelve a reponer con la *chilling shower*. La cuchilla desviadora se utiliza al momento de realizar cambio o mantención al cuchillo crepador y limpieza, este actúa como una barrera que desprende mucho antes la hoja y la desvía evitando que llegue al cuchillo crepador, su uso no es continuo, sino que solo se utiliza cuando se requiere. Y el cuchillo de limpieza, tiene como función nivelar la capa de coating en el cilindro una vez que actúa el cuchillo crepador, para así generar nuevamente las condiciones que permiten adherir la hoja al cilindro, como se observa en la Figura 6B.

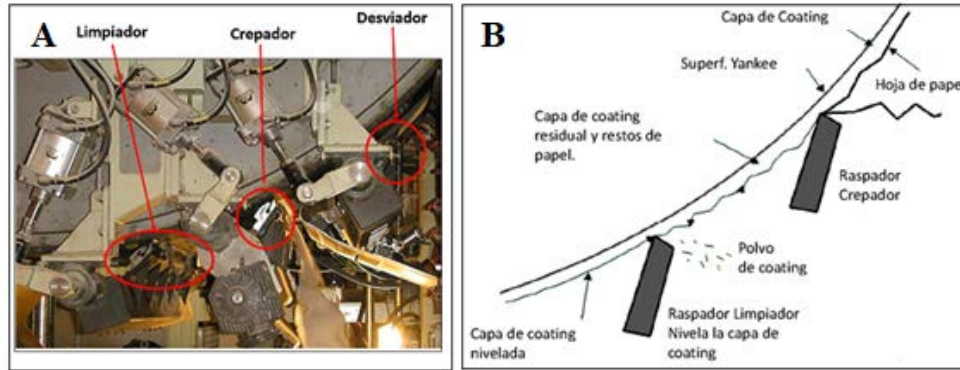


Figura 6. A) Distribución de los cuchillos actuando sobre el cilindro Yankee. B) Diagrama esquematizado del comportamiento del coating y crepado.

Otro punto importante en los elementos del crepado son los ángulos involucrados, estos son tres; ángulo de contacto (α), ángulo de bisel raspador (β) y ángulo de impacto (δ). La suma de ellos resulta en 180° , como se muestra en la Figura 7.

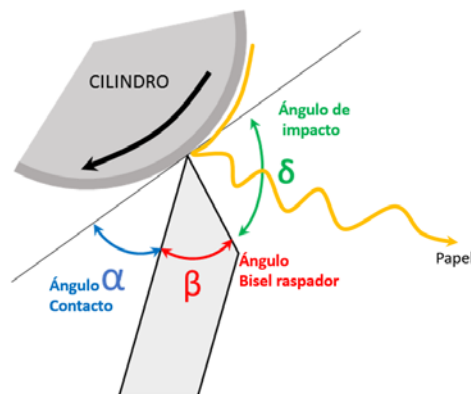


Figura 7. Geometría del Crepado (Hernández et. al, 2010).

Si se conoce el ángulo bisel (β) de la cuchilla y el desgaste de esta, se puede conocer toda la geometría por intermedio de las ecuaciones 1 y 2.

$$\alpha_{\text{impacto (pocket)}} = 90^\circ - \alpha_{\text{contacto}} + \alpha_{\text{bisel cuchilla}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\alpha_{\text{impacto (pocket)}} = \alpha_{\text{hoja}} + \alpha_{\text{salida}} \quad \text{Ec. 2}$$

Para calcular el ángulo de impacto real se debe de conocer el ángulo de desgaste, ya que siempre hay una deflexión en la cuchilla de crepado. Además, se debe considerar para efecto de cálculos que, $\alpha_{\text{contacto}} = \alpha_{\text{desgaste cuchilla}} = \alpha_{\text{portaraspador}}$.

Con un bajo ángulo de crepado se incrementa la posibilidad de romper los enlaces de la fibra y de esta manera la suavidad se manifiesta en mayor grado, es decir, a menor ángulo bisel de cuchilla se obtiene mayor suavidad y a su vez se aumenta el impacto de la hoja sobre la punta de la cuchilla, dando un crepado más fino (Figura 8).

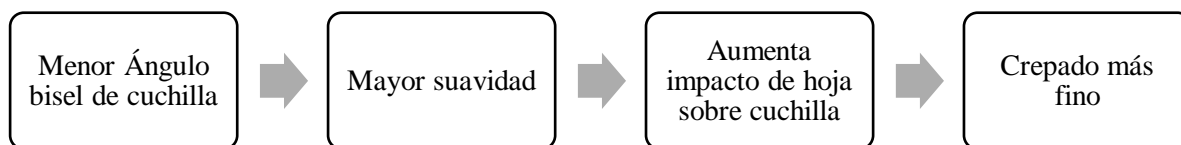


Figura 8. Explicación esquemática de la geometría de crepado.

Finalmente, como último elemento mecánico del crepado está el *stick out*, que corresponde a cartuchos metálicos que se utilizan para mantener el tamaño del cuchillo una vez que pierde dimensiones, cuando el cuchillo crepador de acero al carbono sufre desgaste se debe rectificar para un nuevo uso, en caso contrario se debe cambiar. Por este motivo, su altura se ve disminuida, es así como se utilizan cartuchos que permiten mantener la altura y a su vez deflectan la cuchilla provocando que el ángulo bisel de la cuchilla aumente y sea mayor, al ejercer una presión sobre el cuchillo, esto se esquematiza en la Figura 9. Este hecho conduce a que la cuchilla pierda tanto su poder de separar la hoja del Yankee y se pegue al cilindro, lo que genera al final el cambio de la cuchilla.

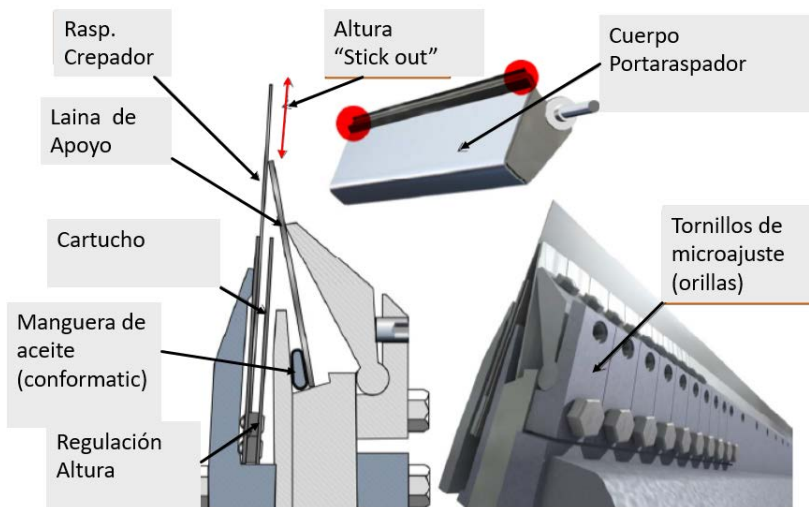


Figura 9. Elementos de accionamiento mecánico de cuchillo crepador.

3.6. Estadística Descriptiva

Existen herramientas que permiten recoger información de datos históricos de proceso, y relacionarlos entre sí mediante el estudio estadístico de múltiples variables medidos en elementos de una población. Estas herramientas permiten resumir el conjunto de variables en unas pocas nuevas variables, construidas como transformaciones de las originales, con la mínima pérdida de información, encontrar grupos en los datos si existen, clasificar nuevas observaciones en grupos definidos y relacionar dos conjuntos de variables (Peña, 2013).

Una de las herramientas de análisis estadístico es el análisis de componentes principales (PCA, por su sigla en inglés), es una herramienta estadística utilizada para realizar análisis multivariable y además para el control estadístico multivariable de procesos. Tiene por objetivo analizar n observaciones de p variables y ver si es posible representar adecuadamente la información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales. Por ejemplo, con variables con alta dependencia es frecuente que un pequeño número de nuevas variables (menos del 20% de las originales) expliquen la mayor parte de la variabilidad original. El PCA entrega una hipótesis de como correlacionar las variables, mas no entrega un resultado de causa efecto, por lo tanto, su interpretación debe ser cuidadosa (Peña, 2013).

Su utilidad es doble, ya que:

- Permite representar óptimamente un espacio cuya dimensión es pequeña, observaciones de un espacio general p -dimensional. Por tanto, los componentes principales son el primer paso para identificar posibles variables “latentes” o no observadas, que generan variabilidad en los datos.
- Permite transformar variables originales, en general correlacionadas, en nuevas variables que no tienen correlación alguna, facilitando así la interpretación de los datos.

Suponiendo que se dispone de los valores de p -variables en n elementos de una población, distribuidos en una matriz \mathbf{X} de dimensiones $n \times p$, con p columnas y n filas.

$$X = X_1 X_2 \dots X_k \quad \text{Ec. 3}$$

Donde X_1, X_2, \dots, X_k representan vectores columna de las mediciones hechas por los instrumentos de medición de proceso.

Matemáticamente, los componentes principales (CP) son ecuaciones lineales que se obtienen a partir de las variables originales, resolviendo un sistema de ecuaciones matriciales generalizado:

$$\left| \begin{pmatrix} X_{11} & \dots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1n} & \dots & Y_{nn} \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \right| = 0 \quad \text{Ec. 4}$$

Donde λ representa los valores propios, hay tantos como variables tenga la matriz X , indican la cantidad de información (varianza) que entregan los CPs. X e Y representan las variables (González Carrasco, 2005).

Teniendo los valores propios, se deben calcular los vectores propios (a). Estos vectores indican cuanta información entregan las variables a los CPs. Se obtienen de:

$$\begin{pmatrix} X_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1n} & \cdots & Y_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{pmatrix} = \lambda_1 \begin{pmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 5}$$

Así, se obtiene el CP_1 y resulta:

$$CP_1 = a_{11}X + \cdots + a_{1n}Y \quad \text{Ec. 6}$$

El resto de CPs se obtiene análogamente a esta forma, y se ordenan de forma descendente de acuerdo a la varianza (Eriksson, 2013). Cada CP representa una parte de la variabilidad total del conjunto de datos en cuestión. Como propiedad de los CPs, está la ortogonalidad entre sí, es decir, cada CP represente una dirección del espacio de variables originales (González Carrasco, 2005) representado en la Figura 10.

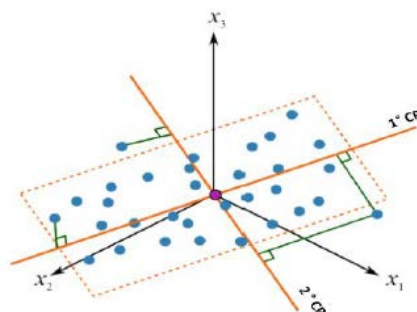


Figura 10. Representación gráfica de los CPs con las rectas que minimizan las distancias ortogonales (Dunn, 2019).

La Figura 10, representa el gráfico llamado *score plot*, que corresponde a una proyección de dos CPs formando un plano (Dunn, 2019). De esta manera, el PCA reduce la dimensión de los datos, obteniendo una interpretación más sencilla y fácil, perdiendo en lo posible el mínimo de información (González Carrasco, 2005). Este es uno de los gráficos de mayor influencia en el análisis de componentes principales, ya que agrupa los datos, aquellos que se agrupan en torno al origen representan el valor promedio de todas las variables, mientras que aquellos que están más alejados son los que más se desvían del promedio (Eriksson, 2013).

Otro gráfico típico del PCA es el *loading plot*, que corresponde a la representación gráfica de los vectores de dirección, que indican la orientación que toman los CPs. Por ejemplo, si un CP se orienta principalmente hacia la dirección de la variable x_2 , dicho CP tendrá coeficientes mayores a la variable x_2 (Dunn, 2019). La Figura 11 muestra un gráfico *loading* típico para un caso en estudio (Shin et al., 2010).

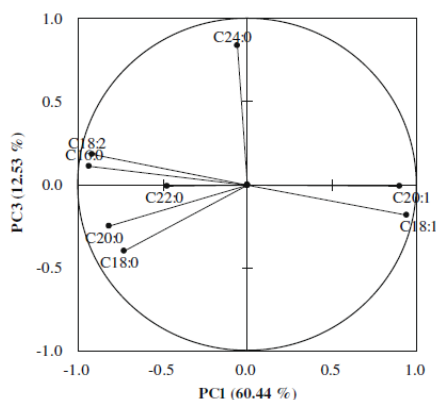


Figura 11. *Loading plot* típico para PCA.

Para la interpretación del *loading plot*, se debe considerar que aquellas variables que se encuentran agrupadas son relacionadas de manera directamente proporcional, mientras que las variables diagonalmente opuestas al origen, es inversamente proporcional su relación (Eriksson, 2013). Esta interpretación del *loading plot* viene dada por el coeficiente de correlación, definido entre dos variables como el coseno del ángulo entre sus respectivos vectores en el gráfico. De esta manera el coseno de 180° es -1 (C18:1 y C18:2 en Figura 11) tiene correlación negativa, el coseno de 0° es 1 que indica correlación positiva, y el coseno de 90° es 0 , indicando que no hay relación alguna entre las variables (Shin et al., 2010).

Es importante destacar que antes de realizar el análisis de componentes principales, los datos se deben tratar, básicamente se debe lograr que los datos tengan desviación estándar 1 y media 0. Para esto cada columna (variable) de la matriz X se le resta el promedio y se divide por su desviación estándar (Dunn, 2019). Esto se hace para eliminar los problemas de escala, es decir, datos que tienen valor muy grande en comparación con datos que poseen valor muy pequeños (Eriksson, 2013).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Evaluar el comportamiento químico del Coating y la mecánica del Crepado relacionando sus efectos en las propiedades del papel final.

4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estandarizar el consumo de los aditivos de coating necesarios considerando las propiedades físicas del papel producido con el mínimo de rechazos.
- ✓ Evaluar el uso de los elementos mecánicos en el crepado para papeles con mayor volumen de producción.
- ✓ Gestionar estrategia para el cuidado del cilindro Yankee antes y durante la producción de los papeles tissue.

5. METODOLOGÍA

Este trabajo de Habilitación Profesional fue realizado en Planta de FPC Tissue, con el apoyo de ingenieros de proceso, operadores de máquina, Gerencia de Calidad y Desarrollo y Gerencia de Operaciones. Se realizó un levantamiento de toda la información de proceso, y para su recopilación y análisis a continuación se detallan los recursos utilizados y el procedimiento desarrollado.

5.1. Recursos, Materiales y Equipos

- Planos de proceso (P&ID) de las Áreas: Materias Primas, Extremo Húmedo y Extremo Seco.
- Datos de operación obtenidos desde pantallas de sala de control de máquina, a través del software *QCS* (Sistema de Control de Calidad, por su sigla en inglés).
- Visita en terreno y entrevista con operadores.
- Softwares para cálculos: Microsoft Excel, Statgraphics Centurion XVI, AutoCAD Plant 3D.
- Material de entrenamiento facilitado por FPC Tissue: presentaciones, informes, catálogos de equipos, diagramas de flujos.
- Datos históricos de operación obtenidos desde planillas de “Datos de Proceso” en colaboración con Ingeniero de Procesos y operadores de sala de operaciones.
- Planilla de Control Pasta con datos de Laboratorio de Pasta (propiedades químicas) y planillas de Laboratorio de Papel (propiedades físico-mecánicas) desde plataforma SapOne.
- Catálogos con características técnicas de equipos; Cilindro Yankee, sección de Crepado, entre otros.

5.2. Procedimiento

Para dar cumplimiento al ***objetivo específico 1: Estandarizar el consumo de los aditivos de coating necesarios considerando las propiedades físicas del papel producido con el mínimo de rechazos***, se utilizó una herramienta de estadística descriptiva, para resumir un conjunto de variables en pocas nuevas variables, construidas como transformaciones de las originales, con la mínima pérdida de información. Así el PCA se realizó mediante los siguientes pasos:

- Selección de las variables a estudiar, para el estudio fueron variables de proceso, además de propiedades físicas y químicas medibles del papel. Las variables seleccionadas se pueden observar en el ANEXO 4. Se estableció un período de tres meses de recolección de datos (Marzo

a Mayo 2019) para el PH 15 gsm y dos meses (Marzo y Abril 2019) para el PH texturizado fino 21 gsm (por no existir producción del mismo en Mayo).

- Los datos recolectados se obtuvieron de tres fuentes distintas, por lo que fue necesario realizar una recopilación de los datos y realizar un resumen de ellos para cada mes en cuestión.

- Se realizaron dos modelos PCA distintos, considerando las variables de mayor influencia, esto se hizo debido a las diferencias en las propiedades físicas que existen entre el PH 15 gsm y el PH texturizado fino 21 gsm, por lo tanto, se diferenció entre ambos papeles para no alterar los resultados. Para la selección de los componentes principales (CPs), se consideró la cantidad de CPs que acumulen más del 70 % de la información (Peña, 2013).

Con esta información fue posible realizar un análisis de las variables de proceso y su relación con las propiedades más relevantes en el papel tissue.

Además, los datos analizados fueron trabajados mediante regresión lineal múltiple; con este análisis se busca explicar y predecir con el modelo de regresión, un valor a partir de las variables independientes medibles y modificables en el proceso, para estimar una estandarización del coating en el proceso de fabricación de papel tissue. Previo a este análisis se trabajaron de la siguiente manera:

- Análisis de varianza de los datos, el cual permite evaluar la normalidad de los datos.

- Construcción del modelo predictivo de regresión lineal múltiple, al momento de definir el análisis de varianza y que de este análisis se compruebe que el ajuste del modelo propuesto resume de buena manera los datos.

- Comprobar la predicción del modelo, teniendo representado el modelo predictivo, se debe comprobar la exactitud de este agregando datos de procesos y observando el valor que resulta desde la variable dependiente, para luego comparar el valor real con el valor predicho y observar el porcentaje de error que se puede presentar.

Para dar cumplimiento al **objetivo específico 2: *Evaluar el uso de los elementos mecánicos en el crepado para papeles con mayor volumen de producción***, se realizó un análisis respecto al uso de cuchillos metálicos comparados con cuchillos cerámicos y de esta forma comprobar si existe un aumento en la suavidad del PH fino 21 gsm, cuya propiedad permite diferenciar papeles planos, y observar la influencia que tiene en el proceso.

Luego de comprobar el uso de estos cuchillos, se realizaron diagramas de Pareto mensuales y generales para el período estudiado (tanto para PH 15 gsm como para PH fino 21 gsm), con sus respectivas causas de cortes, a partir de la información registrada por los operadores de máquina, que, utilizando cámaras de alta definición y velocidad, permiten la grabación del proceso que se registra continuamente y permite identificar el momento en que la hoja se corta por distintas causas.

Una vez realizados los diagramas de Pareto, se identifica el mayor porcentaje de cortes que pueden ser causados por el uso de elementos mecánicos o por la dosificación de aditivos de coating y así estas posibles causas buscar la manera de generar una mejora que permita disminuir este problema que provoca menor producción de toneladas vendibles.

Y por último, para dar cumplimiento al ***objetivo específico 3: Gestionar estrategia para el cuidado del cilindro Yankee antes y durante la producción de los papeles tissue***, se analizó la información registrada a partir de las variables del proceso, en conjunto con el análisis de componentes principales, para conocer la importancia de estas variables, en conjunto con la consulta de catálogos de equipos y manuales del uso de los mismos, con el fin de establecer datos relevantes, rangos de operación y precauciones que se deben tener al momento de la operación del cilindro Yankee.

De esta manera, después de recabar esta información y luego de realizar las consultas con los ingenieros de procesos, operadores de máquina y gerencia de operaciones, se gestiona una planilla “*check list*” que contempla el cuidado del cilindro antes y durante la operación que se presenta en el ANEXO 7.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El período analizado fue el trimestre Marzo – Mayo 2019 para Papel Higiénico 15 gsm y para Papel Higiénico 21 gsm, los datos se procesaron mediante análisis de componentes principales, regresión lineal múltiple y análisis de cortaduras mediante diagrama de Pareto, los que se presentan a continuación.

6.1. Análisis de datos por estadística descriptiva

6.1.1. PCA para Papel Higiénico 15 gsm

Se realizó un análisis de componentes principales con fin de observar las variables con mayor impacto en el estudio. Para el caso de PH 15 gsm, se obtuvo la Tabla 9, la que indica el análisis de componentes principales indicando la cantidad de componentes extraídos considerando su valor propio respectivo y el porcentaje de varianza acumulada. Se obtuvo un número reducido de combinaciones lineales, de 13 variables para este caso (Tabla 9) y que expliquen la mayor variabilidad en los datos. Así, los cuatro componentes principales explican el 72,7 % de la varianza acumulada, por lo que los datos resultan ser representativos y robustos para el análisis.

Tabla 9. Varianza acumulada extraída del PCA para PH 15 gsm.

Componente	Valor Propio	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	4,14272	31,867	31,867
2	2,31466	17,805	49,672
3	1,8528	14,252	63,924
4	1,14518	8,809	72,733
5	0,86787	6,676	79,409
6	0,714338	5,495	84,904
7	0,573775	4,414	89,318
8	0,421424	3,242	92,560
9	0,317301	2,441	95,000
10	0,236182	1,817	96,817
11	0,178484	1,373	98,190
12	0,14289	1,099	99,289
13	0,0923817	0,711	100,000

Además, se obtuvieron los pesos de los componentes extraídos (Tabla A.2.1.1) de la Tabla 9, y con ello se producen las ecuaciones que describen a los cuatro componentes principales y que se

generan como combinación lineal de las variables escritas en la Tabla A.2.1.1. Por ejemplo, el primer componente principal está representado por la ecuación 7.

$$CP_1 = 0,195 * VYankee - 0,135 * Stick\ out - 0,331 * Pcarga + 0,261 * PVOH + 0,322 * Adh - 0,3 * Mod - 0,364 * Rel - 0,19 * PresReg + 0,277 * T^{\circ}TQH2O - 0,09 * Gramaje - 0,23 * RLONG - 0,338 * RTRANS + 0,39 * Suavidad \quad Ec. 7$$

Para obtener la ecuación de los siguientes componentes se procede de igual forma que para CP₁. Además, se debe señalar que los valores de las variables en la ecuación se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar.

Como parte del análisis, se extrajo el gráfico de sedimentación (Figura 12), este gráfico reafirma lo que en la Tabla 9 está descrito, mostrando la representación gráfica de los cuatro componentes principales sobre la línea roja horizontal, puesto que cuatro componentes tuvieron valores propios mayores o iguales que 1.

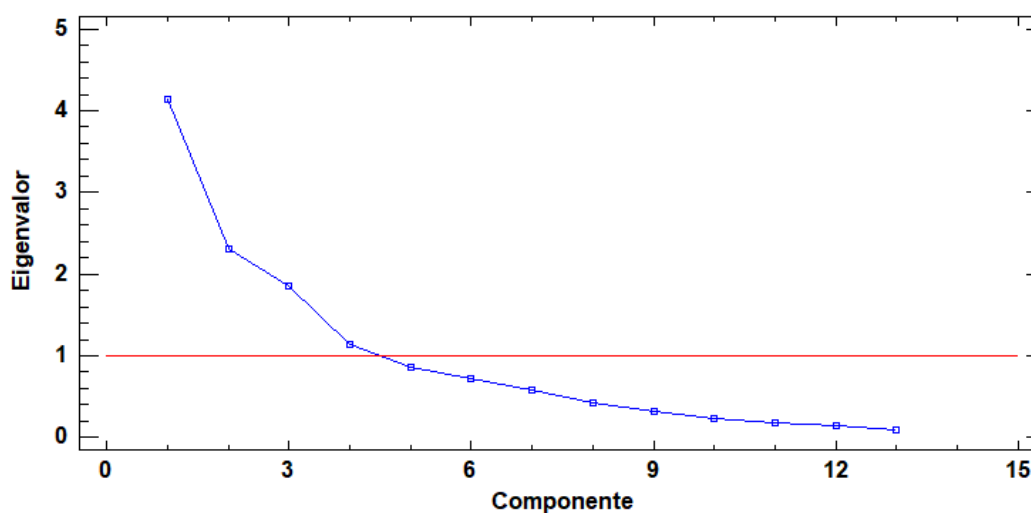


Figura 12. Gráfica de sedimentación para componentes de PH 15 gsm.

De igual forma, es necesario conocer la distribución que los datos a partir del gráfico de dispersión (Figura 13) o *score plot*, para los dos primeros componentes que corresponde al número total de datos dispersos en el gráfico donde se ve la tendencia que presentan estos, sin embargo no existe una tendencia bien definida en la Figura 13.

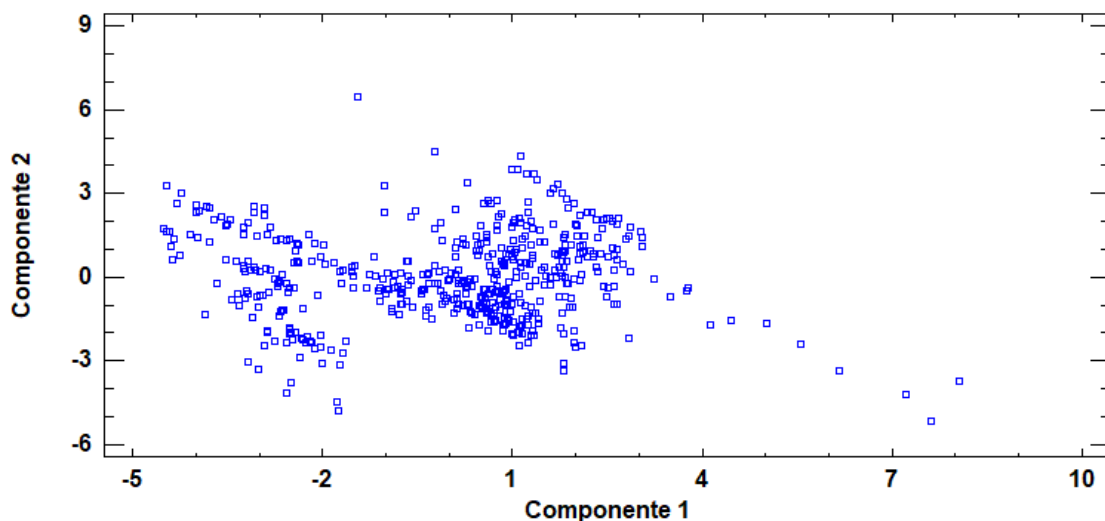


Figura 13. *Score plot* del CP₁ y CP₂ para PH 15 gsm obtenido del análisis de PCA.

Conocida la distribución de los datos, se obtuvo el peso por componente que tiene mayor influencia en el estudio (Figura 14), esta información se representa mediante el gráfico de pesos o *loading plot* para las variables estudiadas.

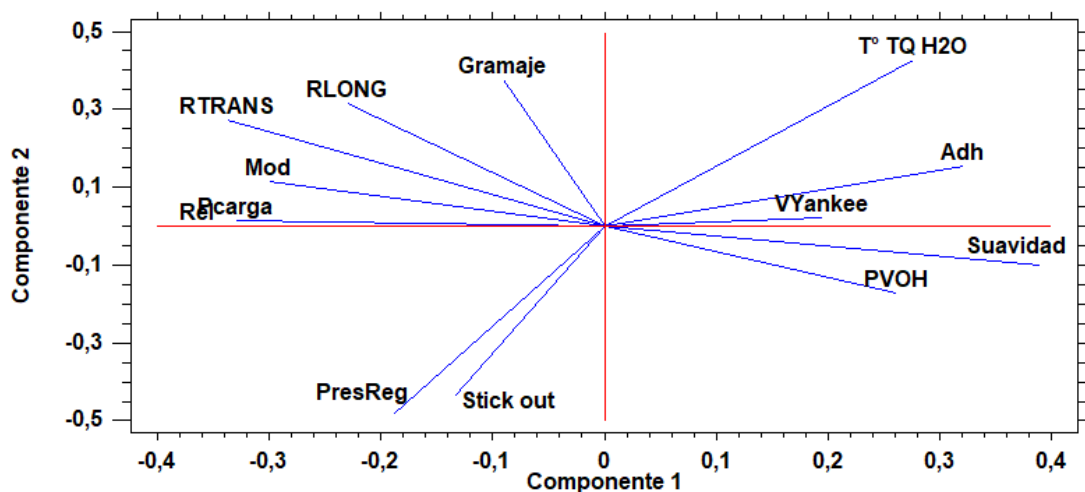


Figura 14. *Loading plot* de CP₁ y CP₂ para PH 15 gsm obtenido del análisis de PCA.

A partir de la Figura 14, se observa que, para el CP₁, el Modificador (Mod) y el Release (Rel) es inverso a la dosificación de PVOH y Adhesivo (Adh), así como también con la Suavidad. Con esta información se cumple la teoría de que la Suavidad es inversamente proporcional a la Resistencia a la tensión en Seco, tanto Longitudinal como Transversal. En el caso de CP₂, se tiene que la Presión de la regadera de Coating es inversa a la Temperatura del tanque de agua de solución para aditivos

de Coating. Sin embargo, en el CP₂ existen variables de proceso, tales como la velocidad del cilindro Yankee, Release, Suavidad entre otros, que no influyen en el peso de los datos.

6.1.2. Estandarización de datos mediante modelo de regresión para PH 15 gsm

Una vez conocidas las variables involucradas en el estudio y su incidencia en la combinación de éstas, se realizó un modelo de regresión lineal múltiple con las variables independientes que corresponden a las variables del proceso (ANEXO 3; Tabla A.3.1.1). Estas variables fueron consideradas en la regresión lineal múltiple con el fin de predecir el comportamiento de la suavidad (variable dependiente) en el PH 15 gsm. Se considera esta variable física, ya que es la de mayor importancia desde el punto de vista comercial.

Para conocer la confiabilidad del modelo de regresión lineal múltiple, en la Tabla 10 se resume el ajuste del modelo propuesto para los datos observados y permite interpretar la regresión. El coeficiente de correlación múltiple determina la tendencia lineal entre las variables, con un $r = 0,6$ se observa que existe una relación moderada entre las variables. En el caso del coeficiente de determinación (R^2), determina el porcentaje de varianza que se explica por las variables independientes respecto a la variabilidad total de los datos explicados. Por otro lado, el R^2 ajustado da un valor de 0,35 lo que nos da indicios de que el modelo de regresión no es confiable para predicciones, ya que la regresión solo considera un 35% de las observaciones. Para confiar en la regresión es posible rechazar la hipótesis nula (H_0) verificando el valor crítico de F, ya que este valor es una medida alternativa al F tabulado, por lo tanto, se debiera rechazar la hipótesis nula cuando el valor crítico de F sea menor a 0,05. Para este caso, se cumple que el valor crítico de F es menor a 0,05, rechazando la hipótesis nula, y con ello se asume que al menos uno de los coeficientes de regresión es distinto de cero.

Tabla 10. Estadística de la regresión lineal múltiple, inicial y ajustado para PH 15 gsm.

Datos estadísticos	Inicial	Ajustado
Coefficiente de correlación múltiple	0,60	0,99
Coefficiente de determinación R^2	0,36	0,99
R^2 ajustado	0,35	0,99
Error típico	1,25	1,26
Observaciones	726	726

Una vez con el modelo ajustado, el coeficiente de correlación múltiple ajustado es de $r=0,99$ y el R^2 ajustado de $0,99$ (Tabla 10). De esta forma, al realizar el modelo definitivo de la regresión lineal múltiple se obtendrá una nueva estadística de regresión. Luego de cumplir con el estadístico de prueba, el resumen del ajuste del modelo propuesto para los datos mejora, considerando la relación fuerte entre los datos, por lo que la regresión considera el 99,97% de las observaciones, lo que es confiable para predecir el comportamiento de los datos.

A partir de las estimaciones para los coeficientes de regresión ajustados para PH 15 gsm (Tabla A.3.3.3), se construye la ecuación de regresión lineal múltiple que predecirá la Suavidad a partir de los datos registrados de proceso. Esta ecuación se obtiene con la sumatoria de los productos entre los coeficientes de la regresión por la variable independiente registrada en proceso, como lo indica la ecuación 8.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n \quad \text{Ec. 8}$$

Con Y la variable dependiente que se desea predecir, b_0, b_1, \dots, b_n los coeficientes estimados obtenidos a partir de la regresión lineal múltiple y x_1, x_2, \dots, x_n variables independientes medibles y manipulables de proceso. (ANEXO 3; Tabla A.3.1.1.)

Reemplazando las variables independientes registradas en proceso, se obtiene la ecuación 9.

$$\begin{aligned} \text{Suavidad} = & -0,001x_1 - 0,02x_2 - 0,03x_3 - 0,09x_4 - 1,42x_5 + 0,001x_6 + 0,54x_7 - 0,03x_8 - \\ & 0,52x_9 - 0,1x_{10} + 0,18x_{11} + 0,14x_{12} \end{aligned} \quad \text{Ec. 9}$$

Para comprobar la validez del modelo ajustado de regresión lineal múltiple, se utilizaron tres corridas experimentales de los datos históricos registrados, con su respectivo valor de Suavidad. La Tabla 11 muestra los datos históricos de proceso con las fechas tomadas al azar y su comparación con el modelo ajustado de regresión lineal múltiple. Se observa que existe una diferencia en porcentaje de error, desde 0,4% hasta 2,4% entre los valores reales y los valores del modelo, esto no quiere decir que el modelo no sea confiable, sino que permite hacer un primer acercamiento a un valor de suavidad que se requiera modificando los parámetros del proceso. Como se observa el día 05 de Marzo se obtuvieron jumbos con valor de suavidad de 77,4 HF, específicamente fueron 5 jumbos con esa suavidad en distintos horarios del día, y el valor de suavidad de acuerdo al modelo fue de 79,3 HF (error 2,4%). Para otro día (05 de Abril) el valor de

suavidad en proceso fue de 80,6 HF, y el valor de acuerdo al modelo fue de 80,3 HF (error 0,4%). El modelo predictivo tiene un rango de error acotado de entre un 0% a 4%, lo que significa que arroja una aproximación bastante acertada respecto a la realidad de producción de la máquina. Por tanto, el modelo resulta ser una buena herramienta para estimar alguna propiedad medible y con ello ajustar no sólo la dosificación de coating, sino que cualquier otro parámetro.

Tabla 11. Datos históricos de proceso y suavidad predicha por modelo ajustado de regresión lineal múltiple para PH 15 gsm.

Elemento analizado	Unidad de medida	Fecha/Hora		
		05-03 / 15:00	05-04 /15:24	05-05 / 15:03
Velocidad Yankee	m/min			
Razón Crepado	%			
Cuchilla Crepadora	°			
Stick out	mm			
Presión de carga	bar			
Refinación cabecero	kWh/t			
PVOH	mg/m ²			
Adhesivo	mg/m ²			
Modificador	mg/m ²			
Release	mg/m ²			
Presión regadera de coating	kPa			
Temperatura tanque de agua	°C			
Suavidad según medición	HF	77,4	80,6	82,1
Suavidad por modelo	HF	79,3	80,3	80,7
Porcentaje de error	%	2,4	0,4	1,7

6.1.3 PCA para Papel Higiénico fino 21 gsm

Se realizó un PCA que fue independiente al realizado para el PH 15 gsm, esto debido a las diferencias existentes en las propiedades de cada papel y sus condiciones de proceso.

Para PH fino 21 gsm, se obtuvo un número de combinaciones lineales que corresponde a 15 variables (Tabla 12), considerando su valor propio respectivo y la varianza acumulada. En este caso, el conjunto explica el 73,7 % de la varianza acumulada, por lo que los datos resultan ser representativos y robustos para el análisis y fueron cuatro los componentes extraídos.

Tabla 12. Varianza acumulada extraída del PCA para PH fino 21 gsm.

<i>Componente</i>	<i>Valor Propio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Porcentaje Acumulado</i>
1	5,21057	34,737	34,737
2	2,95602	19,707	54,444
3	1,48048	9,870	64,314
4	1,40728	9,382	73,696
5	0,955861	6,372	80,068
6	0,778807	5,192	85,260
7	0,581673	3,878	89,138
8	0,491208	3,275	92,413
9	0,394534	2,630	95,043
10	0,200273	1,335	96,378
11	0,15396	1,026	97,404
12	0,144378	0,963	98,367
13	0,112534	0,750	99,117
14	0,0889679	0,593	99,710
15	0,0434565	0,290	100,000

Las ecuaciones de los componentes principales se obtienen como combinación de las variables en la columna “Componente 1” (Tabla A.2.2.1). Por ejemplo, el primer componente principal está representado por la ecuación 10.

$$PC_1 = 0,393 * VYankee + 0,07 * \%Crepado + 0,328 * \textcircled{C}uchilla Crep + 0187 * Stick out - 0,388 * Pcarga + 0,348 * RefCab - 0,284 * Adh + 0,258 * Mod + 0117 * Rel - 0,322 * PresReg + 0,333 * T^{\circ}TQH2O + 0,003 * RLONG + 0,045 * RTRANS - 0,161 * ELONG - 0,151 * Suavidad \quad \text{Ec. 10}$$

Para obtener la ecuación de los siguientes componentes se realiza el mismo procedimiento que para PC₁. Además, se debe señalar que los valores de las variables en la ecuación se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar.

La Figura 15 reafirma lo que en la Tabla 12 está descrito, mostrando la gráfica de sedimentación de los cuatro componentes principales sobre el valor propio 1,0 marcado con una línea roja horizontal.

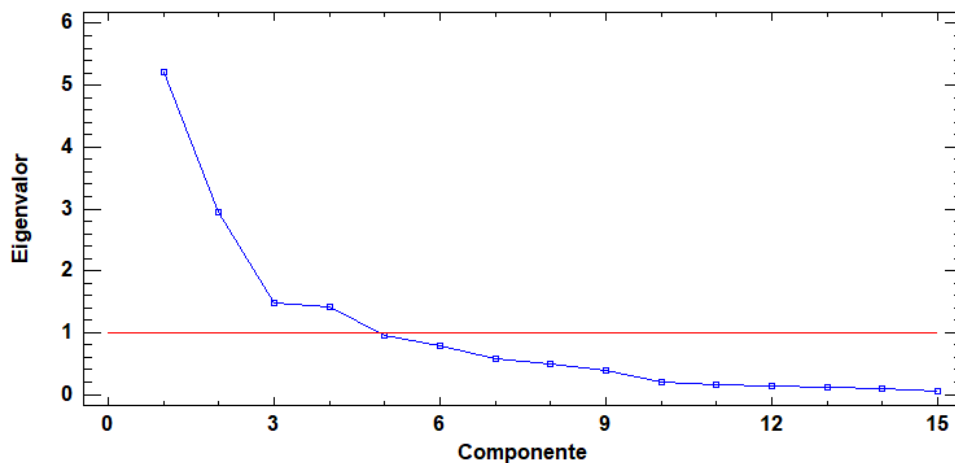


Figura 15. Gráfica de sedimentación para componentes de PH fino 21 gsm

Conociendo los componentes principales extraídos desde la Tabla 10, es necesario conocer la dispersión que presentan los datos recolectados para el análisis. De esta forma, se obtuvo el gráfico de dispersión o *score plot* para los dos primeros componentes (Figura 16) que corresponde al número total de datos dispersos en el gráfico donde se ve la tendencia que presentan estos y como estos se agrupan. En este caso, se observa que la incorporación de nuevas variables, tales como; ángulo de cuchilla crepadora, razón de crepado y la refinación cabecero generan que la dispersión de datos sean segregados, porque indican que existe una diferencia claramente contrastadas en el proceso.

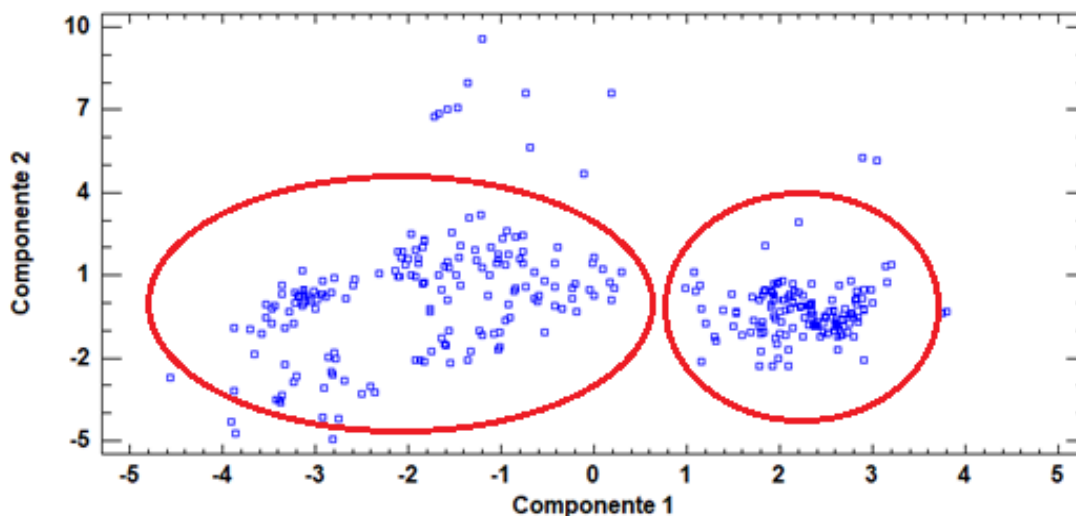


Figura 16. *Score plot* para CP1 y CP2 para PH fino 21 gsm obtenido desde PCA.

El gráfico de pesos o *loading plot* (Figura 17) para las variables elegidas en el estudio, se observa que para el CP₁, el Modificador es inverso a la dosificación de Adhesivo, también se ve que la Elongación es inversa a la Velocidad del Yankee. Por otro lado, se rescata que la Presión de carga al raspador es inversa al Stick out utilizado. En el caso de CP₂, se tiene que la Suavidad es inversa a la Resistencia a la tensión en Seco, tanto Longitudinal como Transversal, por tanto, se cumple la teoría entre estas variables y además la Suavidad es inversa a la dosificación de Release y Modificador.

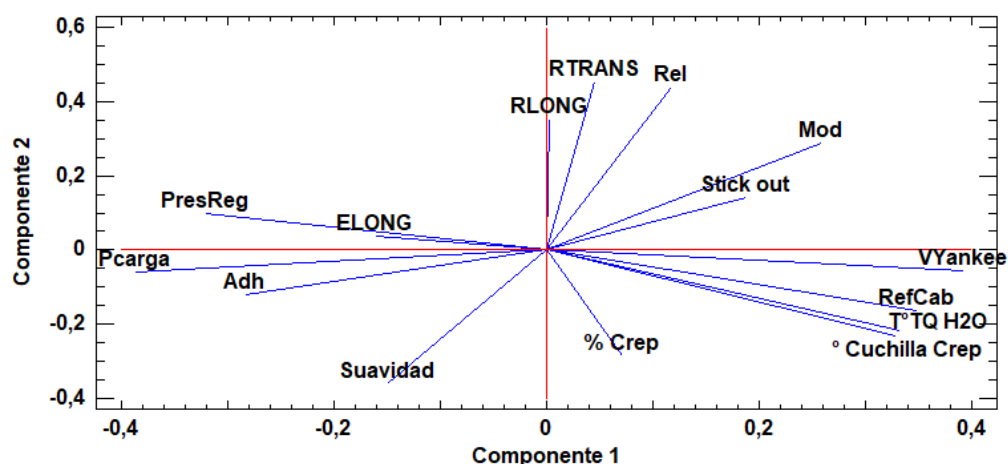


Figura 17. *Loading plot* para PH fino 21 gsm obtenido desde PCA.

6.1.4 Estandarización de datos mediante modelo de regresión PH fino 21 gsm

Al igual como se realizó para PH 15 gsm, se hizo un modelo predictivo de regresión lineal utilizando las variables del proceso que son manipuladas (variables independientes) por el operador (Figura A.3.1.1; ANEXO 3), estas variables son las consideradas en la regresión lineal múltiple con el fin de predecir el comportamiento de la Suavidad (variable dependiente) para cumplir con las características del PH fino 21 gsm.

Para conocer la confiabilidad del modelo de regresión lineal múltiple, la Tabla 13, resume el ajuste del modelo propuesto para los datos observados y permite interpretar la regresión. El coeficiente de correlación múltiple se encarga de determinar la tendencia lineal entre las variables, con un $r = 0,54$ muestra la existencia de una relación moderada. En el caso del coeficiente de determinación

(R^2), determina el porcentaje de varianza que se explica por las variables independientes respecto a la variabilidad total de los datos explicados. Por otro lado, el R^2 ajustado, da un valor de 0,27 lo que nos da indicios de que el modelo de regresión no es confiable para predicciones, ya que la regresión solo considera un 27% de las observaciones. Para confiar en la regresión es posible rechazar la hipótesis nula (H_0) verificando el valor crítico de F, ya que este valor es una medida alternativa al F tabulado, y se debiera rechazar la hipótesis nula cuando el valor crítico de F sea menor a 0,05. Para este caso, se cumple que el valor crítico de F es menor a 0,05 rechazando la hipótesis nula, y con ello se asume que al menos uno de los coeficientes de regresión es distinto de cero.

Tabla 13. Estadística de la regresión lineal múltiple, inicial y ajustado para PH fino 21 gsm.

Datos estadísticos	Inicial	Ajustado
Coefficiente de correlación múltiple	0,54	0,99
Coefficiente de determinación R^2	0,29	0,99
R^2 ajustado	0,27	0,99
Error típico	1,19	1,19
Observaciones	496	496

De esta manera, realizando el modelo definitivo de la regresión múltiple se obtendrá una nueva estadística de regresión. Ya con el modelo ajustado, el coeficiente de correlación múltiple ajustado es de $r=0,99$, y el R^2 ajustado de 0,99 (Tabla 13). Luego de cumplir con el estadístico de prueba, el resumen del ajuste del modelo propuesto para los datos mejora, considerando que la relación entre los datos es fuerte, ya que la regresión considera el 99,77% de las observaciones, lo que genera confiabilidad en las predicciones.

A partir de las estimaciones para los coeficientes de regresión ajustados para PH fino 21 gsm (Tabla A.3.5.2; ANEXO 3), se construye la ecuación de regresión lineal múltiple que predecirá la Suavidad a partir de los datos registrados de proceso.

De acuerdo a la representación de la ecuación de regresión lineal múltiple escrita en la ecuación 10, la ecuación predictiva para PH fino 21 gsm está representada en la ecuación 11.

$$Suavidad = 0,002x_1 + 0,035x_2 + 0,012x_3 + 0,257x_4 + 0,275x_5 - 0,021x_6 + 0,0005x_7 + 0,711x_8 + 0,925x_9 - 1,361x_{10} + 0,183x_{11} + 0,028x_{12} \quad \text{Ec. 11}$$

Con $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{12}$, que corresponden a las variables del proceso medibles y manipulables, que actúan como variables independientes (Figura A.3.1.1; ANEXO 3).

Para comprobar la validez del modelo ajustado de regresión lineal múltiple para PH fino 21 gsm, se utilizaron cuatro corridas experimentales de los datos históricos registrados, con su respectivo valor de Suavidad. La Tabla 14 presenta los datos históricos de proceso con las fechas tomadas al azar y su comparación con el modelo ajustado de regresión lineal múltiple. Se observa que existe una diferencia en porcentaje de error de entre 0,5 % a 5,7 %, entre los valores reales y los valores del modelo, esto no quiere decir que el modelo no sea confiable, sino que permite hacer un primer acercamiento a un valor de suavidad que se requiera modificando los parámetros del proceso. Como se observa el día 16 de Marzo, se produjeron jumbos con valores de suavidad muy cercanas al valor predicho (dos jumbos con valor de 87,8 HF y uno con valor de 87,7 HF) considerando los 14 jumbos que se produjeron, y el valor de suavidad predicho por el modelo fue de 87,6 HF (error 5,7%). Para otro día (16 de Abril) el valor de suavidad del proceso fue de 86,9 HF, mientras que el valor de acuerdo al modelo fue de 86,5 HF (error 0,5%). El modelo predictivo tuvo un rango de error acotado entre un 0% al 6%, lo que significa que arroja una aproximación bastante acertada respecto a la realidad de producción de la máquina. Por tanto, el modelo resulta ser una buena herramienta de predicción para alguna propiedad medible y con ello ajustar no sólo la dosificación de coating, sino que cualquier otro parámetro.

Tabla 14. Datos históricos de proceso y suavidad predicha por modelo ajustado de regresión lineal múltiple para PH fino 21 gsm.

Elemento analizado	Unidad de medida	Fecha/Hora			
		15-03 / 09:30	16-03 / 20:15	15-04/ 09:45	16-04 / 20:31
Velocidad Yankee	m/min				
Razón Crepado	%				
Cuchilla Crepadora	°				
Stick out	mm				
Presión de carga	bar				
Refinación cabecero	kWh/t				
PVOH	mg/m ²				
Adhesivo	mg/m ²				
Modificador	mg/m ²				
Release	mg/m ²				
Presión regadera de coating	kPa				

Temperatura tanque de agua	°C				
Suavidad según medición	HF	87,9	92,6	85,2	86,9
Suavidad por modelo	HF	87,3	87,6	86,3	86,5
Porcentaje de error		0,7%	5,7%	1,3%	0,5%

6.2 Análisis de los elementos mecánicos en el crepado de papel

6.2.1 Análisis de cuchillos en la fabricación de Papel Higiénico fino 21 gsm

El uso de cuchillos cerámicos por sobre los cuchillos metálicos de acero, permite disminuir el consumo de estos por cantidad de jumbos producidos, ya que, la rotación del cuchillo de acero es cada 3 o 4 jumbos. En la medida de cantidad de jumbos producidos, los cuchillos pierden filo y disminuyen su tamaño, el problema radica en que, al no realizar el cambio del cuchillo, la hoja no es crepada y siga su curso alrededor del cilindro Yankee.

Utilizando cuchillo cerámico, la rotación de estos se ve considerablemente afectada, ya que este tipo de cuchillos resiste al impacto agresivo de la hoja sobre él y a la vez, según proveedor, incrementa la suavidad en el papel; mantiene sus dimensiones por un tiempo prolongado y el filo no es considerablemente afectado. El uso de cuchillos cerámicos en el proceso es controlado mediante una planilla de seguimiento.

Tabla 15. Uso de cuchillo cerámico en el mes de Marzo 2019.

Serie	Tipo cuchillo	α	Fecha Instalación (Fecha/Hora)	Fecha Retiro (Fecha/Hora)	Duración (hh:mm:ss)
95600.2	Crepador	85	18-03 / 13:02	18-03 / 16:09	03:07:00
	Limpiador	85	18-03 / 11:52	19-03 / 11:47	23:55:00
95625.1	Crepador	90	18-03 / 16:09	20-03 / 00:32	32:23:00

En la Tabla 15 se muestra una planilla de seguimiento, en la cual se incorpora la información de uso del cuchillo en el proceso, donde se destacan cinco acciones: antes del uso de cuchillos cerámicos, ingreso de cuchillo limpiador 85°, ingreso de cuchillo crepador 85° junto al cuchillo limpiador 85°, cambio de cuchillo crepador de 85° a 90° y finalmente, el retiro del cuchillo de limpieza dejando solo el cuchillo crepador de 90° en servicio.

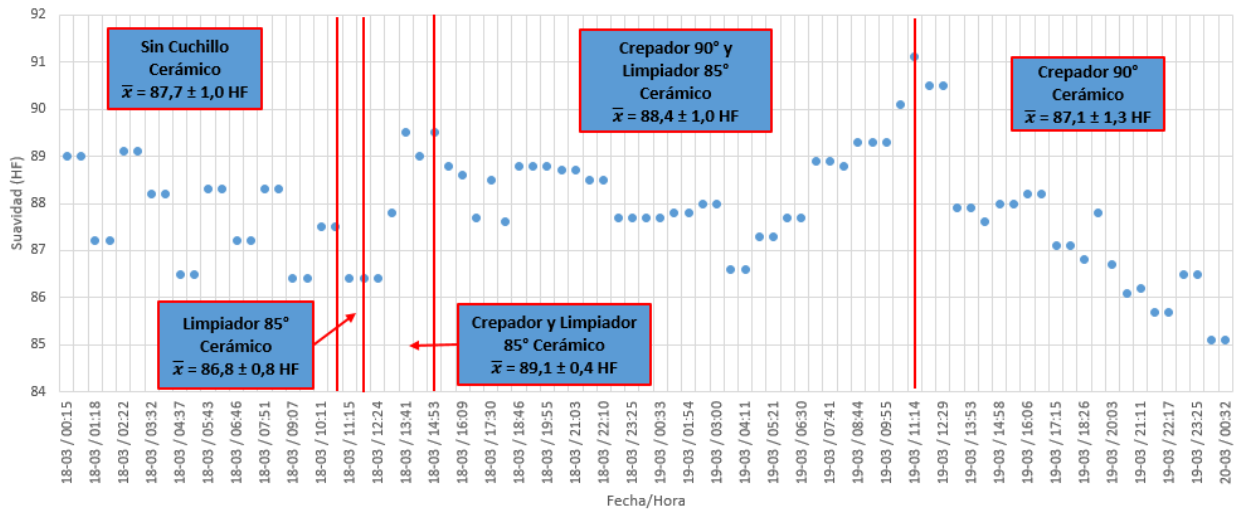


Figura 18. Análisis del uso de cuchillo cerámico mes Marzo 2019 y su efecto en la suavidad.

Una forma de analizar la información del uso de los cuchillos de manera más gráfica es con respecto a la suavidad del producto final. La Figura 18 detalla la producción de jumbos durante el período de uso de los cuchillos cerámicos en el mes de Marzo, en este se observa los distintos movimientos que se realizaron con los ángulos de cuchillos. Es posible observar que el uso de cuchillo limpiador y crepador de 85° aumenta la suavidad en los jumbos desde 88,6 a 89,5 HF lo que genera un impacto. Además, se observa un impacto positivo al final del uso del cuchillo crepador de 90° que se debe a un ligero aumento y puede deberse al aumento de release.

En la Tabla 15, se muestra el momento en que ingresaron los cuchillos cerámicos al proceso y se observa que al momento de ingresar solo el cuchillo limpiador de 85° se produjeron 3 jumbos, cuyas suavidades están en el orden de 86,4 – 87,8 HF, siendo el promedio de suavidad en este período de $86,8 \pm 0,8$ HF.

Tabla 16. Uso de cuchillo cerámico para el mes de Abril 2019.

Serie	Tipo cuchillo	α	Fecha Instalación (Fecha/Hora)	Fecha Retiro (Fecha/Hora)	Duración (hh:mm:ss)	Observaciones
95625.3	Crepador	90	11-04 / 11:15	12-04 / 13:30	26:15:00	
95625.4	Crepador	90	12-04 / 13:30	13-04 / 20:10	30:40:00	
95625.5	Crepador	90	13-04 / 20:12	15-04 / 11:14	39:02:00	
95625.6	Crepador	90	15-04 / 11:18	16-04 / 12:46	25:28:00	

95625.6	Crepador	90	16-04 / 14:41	16-04 / 18:14	03:33:00	
77243.3	Crepador	80	16-04 / 18:27	16-04 / 18:32	00:05:00	Pique

La Tabla 16, representa tres acciones: el antes de utilizar cuchillo crepador cerámico de 90°, el momento en que ingresan los cuchillos crepadores de 90° al proceso y el retiro de los cuchillos crepadores de 90° volviendo a cuchillo crepador metálico de 85°.

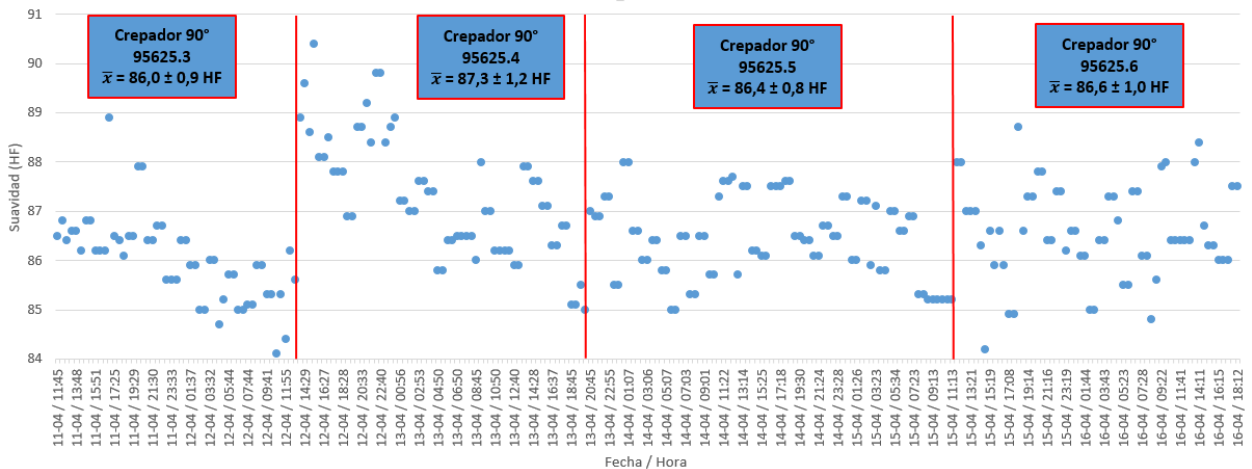


Figura 19. Análisis del uso de cuchillo cerámico mes Abril 2019 y su efecto en la suavidad.

De la misma forma que se realizó la discusión anterior, en Figura 19 se observa que el cuchillo crepador 90° de serie 95625.4 fue el que obtuvo jumbos con mayor suavidad respecto a los otros cuchillos utilizados, esto se debe a la disminución en la dosificación de Release considerable para esos jumbos, lo que repercutió en un valor de suavidad mayor. En los otros casos la suavidad se mantuvo constante al no existir mayores variaciones en las variables de proceso.

6.3 Análisis de cortaduras en el proceso

6.3.1 Papel Higiénico fino 21 gsm

Una vez analizado el uso de los cuchillos cerámicos para PH fino 21 gsm, se analizaron las causas de corte para este tipo de papel. Si bien este tipo de papel requiere como criterio de evaluación valores altos de suavidad, se busca identificar las causas de los cortes y así aumentar la calidad del papel traducido a toneladas comercializables de papel en calidad 0.

En el levantamiento de la información, se detectaron 477 cortes totales en PH fino 21 gsm, siendo Abril (54,5%) el mes que más cortes presentó con 260 y luego Marzo (45,5%) con 217 cortes. Si

el total de toneladas de PH fino 21 gsm que se produjeron en los meses estudiados fueron de 1.468 toneladas y la cantidad total de cortes fue 477 cortes, se determinó que al menos existió un corte por cada 3,07 toneladas, siendo el desglose mensual el siguiente: Marzo tuvo 2,85 toneladas/cortes y Abril 3,27 toneladas/cortes. Esta información se resumió y representó en diagramas de Pareto por mes junto a sus causas (ANEXO 6) y además un diagrama de Pareto general en la Figura 20 con las causas de corte en la Tabla 17.

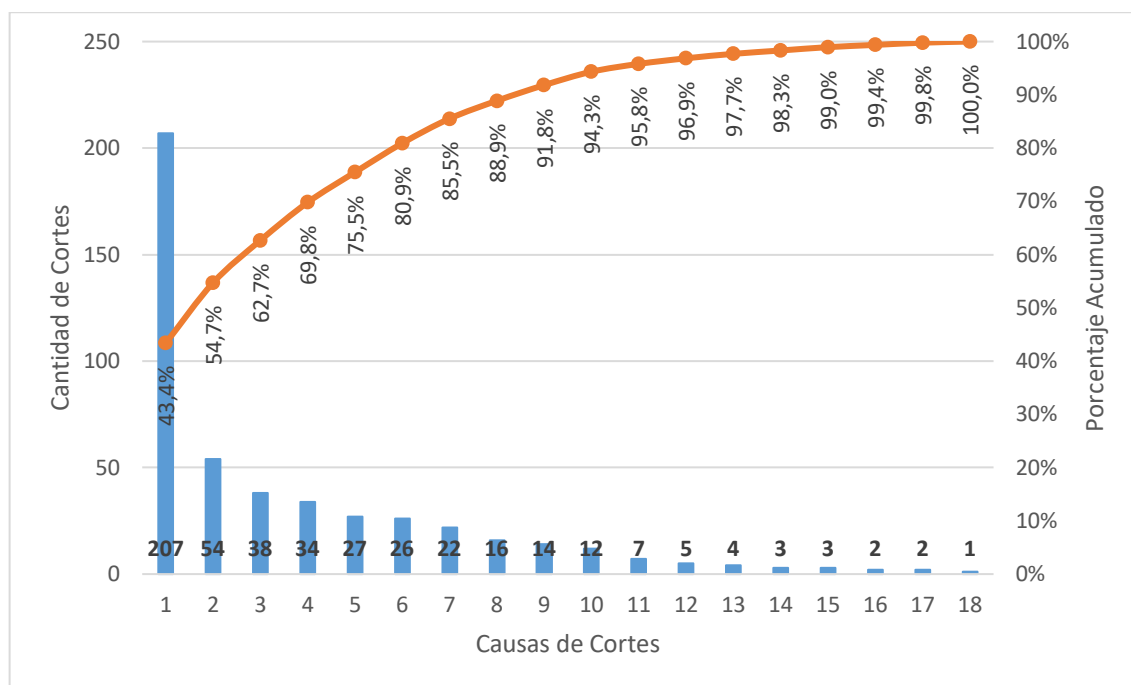


Figura 20. Diagrama de Pareto general de cortes período Marzo – Abril 2019 PH fino 21 gsm.

Tabla 17. Causas de cortes identificados en período Marzo – Abril 2019 para PH fino 21 gsm.

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	10	Defecto de refilo
2	Rutina de aseo	11	Desviación de proceso
3	Falla de enganche	12	Reventadura de prensa
4	Reventadura de yankee	13	Orilla hoja picada prensa
5	Cambio crepador o limpiador defectuoso	14	Orilla hoja picada yankee
6	Slitter	15	F/S falla electrocontrol
7	Ensuciamiento	16	Embolsamiento
8	No identificado	17	Orilla refilo picado yankee
9	Flameo	18	Goterías

Como se observa en la Figura 20 y la Tabla 17, se tiene una evidencia clara de las principales causas de cortes registrada por operadores, presentando un porcentaje superior al 50 % los cortes registrados por las 2 primeras causas de la Tabla 17, siendo el cambio de jumbos el mayor porcentaje de cortes con 43,4 %, sin embargo, como es el caso del PH 15 gsm, esta causa es controlada. Los cortes que se pueden solucionar a corto plazo son los cortes causados por “Flameo” y los causados por “goteras”.

Los cortes ocasionados por “flameo” representaron un 3,4 % y son cortes que pueden estar asociados a excesivas dosificaciones de coating, específicamente exceso de Release, ya que, al aumentar la dosificación de Release la hoja pierde adherencia en el cilindro, lo que provoca una hoja más suelta antes de impactar con el cuchillo crepador, generando un crepado de la hoja deficiente, lo que provocaría un descenso en la suavidad en el papel, por lo tanto, una de las acciones a tomar para disminuir este tipo de cortes, es disminuir la dosificación de Release para que el cuchillo cumpla con su función al impactar con la hoja que viene bien adherida al cilindro. Mientras que los cortes ocasionados por “goteras” se deben abordar de la misma manera que para PH 15 gsm.

6.3.2 Papel Higiénico 15 gsm

Debido a que el PH 15 gsm tiene un porcentaje alto de producción, presenta problemas físicos que ocasionan la pérdida de calidad; y uno de esos problemas son los cortes de hoja. Si bien la suavidad en este tipo de papel no es crítica, pero si la cantidad de cortes que ocurren en su fabricación resulta un problema en el rendimiento del proceso productivo.

Se realizó un análisis de cortes totales entre Marzo y Mayo que fueron 998 en PH 15 gsm, siendo Marzo (50,6%) el mes que más cortes presentó con 505, luego Mayo (29,1%) con 290 cortes y finalmente Abril (20,3%) con 203 cortes. Considerando el total de toneladas de papel que se produjeron (3.343 toneladas) y la cantidad total de cortes (998 cortes), se determinó que al menos se presentó un corte por cada 3,3 toneladas, siendo el desglose mensual el siguiente: Marzo presentó 2,7 toneladas/cortes, Abril tuvo 4,22 toneladas/cortes y en Mayo fueron 3,77 toneladas/cortes. Esta información se resumió y representó en diagramas de Pareto mensual, presentes en el ANEXO 5 junto a sus causas identificadas y además un diagrama de Pareto general en la Figura 21 resumiendo las causas de corte en la Tabla 18.

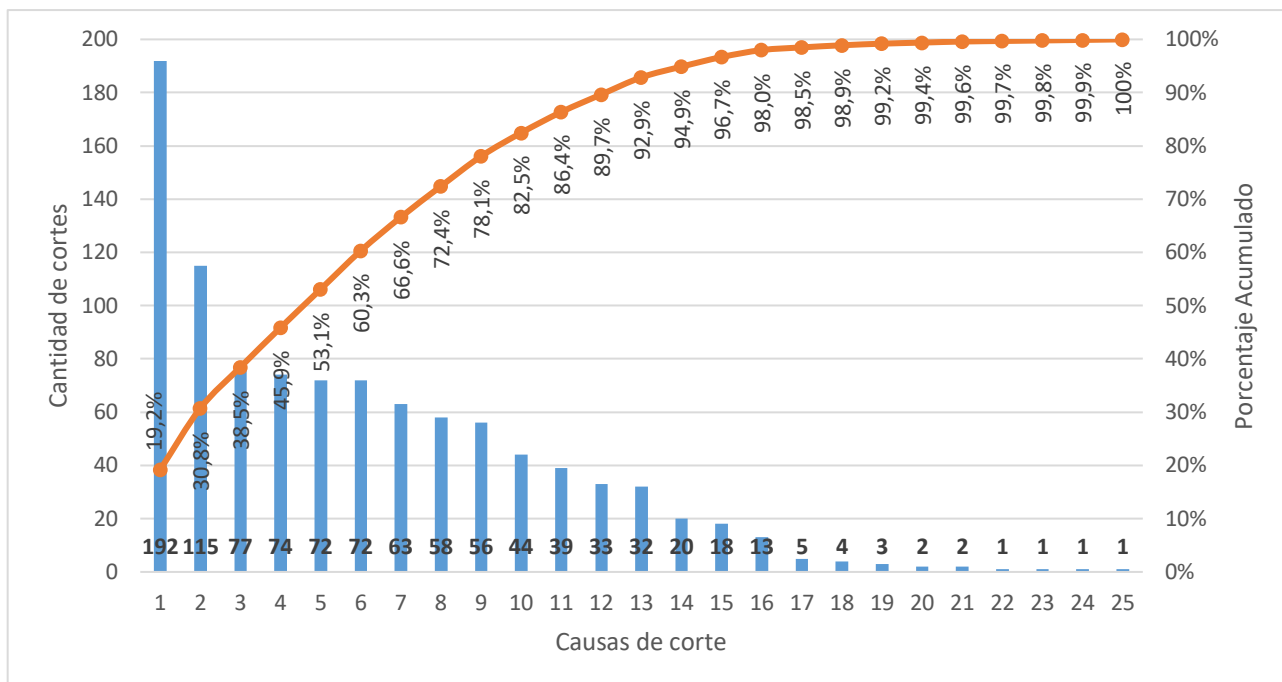


Figura 21. Diagrama de Pareto de cortes para Marzo – Mayo 2019 para PH 15 gsm.

Tabla 18. Causas de cortes identificadas en el período Marzo – Mayo 2019 para PH 15 gsm.

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	14	Orilla refileo picado prensa
2	Rutina de aseo	15	Desviación de proceso
3	No identificado	16	Goteras
4	Orilla hoja picada prensa	17	Orilla refileo picado yankee
5	Orilla hoja picada yankee	18	F/S Falla electrocontrol
6	Falla de enganche	19	Vacías
7	Ensuciamiento	20	Falla o problema operacional
8	Defecto de refileo	21	Normalización
9	Reventadura de yankee	22	F/S Falla mecánica
10	Reventadura de prensa	23	F/S aseo químico vestimenta
11	Slitter	24	F/S cambio de vestimenta no programada
12	Embolsamiento	25	Flameo
13	Cambio raspador crepador o limpiador defectuoso		

Se observa en la Figura 21 y la Tabla 18, una clara evidencia de las principales causas de cortes registrada por operadores en el período estudiado, con un porcentaje superior al 50 % de los cortes registrados por las 5 primeras causas de la Tabla 18. El cambio de jumbos presentó el mayor

porcentaje de cortes con 19,2 %, sin embargo, esta causa es controlada por los operadores, ya que esta acción permite desprender el jumbo de *pope* y así comenzar a enrollar el nuevo jumbo, por lo tanto, la transición entre el jumbo que sale de *pope* cortando la hoja y el nuevo jumbo que se enrolla en *pope* no puede ser un punto que abordar, este siempre será una causa difícil de controlar. Una situación similar ocurre con la segunda causa de cortes “Rutina de aseo”, ya que los operadores programan el corte de hoja para realizar limpieza a la máquina. Pero existe un porcentaje de cortes que no están identificados, y que ocupa el tercer lugar (Figura 21) con un 7,7 %, este porcentaje puede ser un punto de mejora para la empresa, buscando herramientas para identificar este porcentaje que se genera mensualmente. Por ahora la única forma de identificar los cortes es a través de cámaras de alta resolución y velocidad, que permiten evidenciar los cortes solo visualmente. Otro porcentaje que se podría resolver inmediatamente, son los cortes ocasionados por “goteras”, ya que, para solucionar este punto, solo se requiere de una mantención general a las instalaciones de FPC Tissue, con el fin de sellar todos aquellos agujeros presentes en el techo de la estructura que podrían ser generadoras de goteras y así se evita un porcentaje (1,3 %) de cortes, mejorando la calidad del papel fabricado.

6.4 Evaluación de información para el cuidado del cilindro Yankee

Una vez analizados los impactos que tienen tanto el coating como la mecánica de crepado en la fabricación de papel tissue y de determinar las variables de proceso de mayor influencia en la producción de los papeles estudiados, se estableció una planilla tipo “*check list*” con el fin de promover un protocolo de cuidado al cilindro Yankee, ya que este equipo es el que sufre la acción del coating y la agresividad del crepado. De esta forma se construyó la planilla *check list* (Figura 22) a partir del estudio realizado, para cada tipo de papel y que será utilizada al momento de iniciar la producción de estos papeles, con el fin de tener conocimiento del estado del corazón de la máquina. La planilla *check list*, es idéntica para ambos papeles, solo varía en el rango de operación en la presión de carga del cuchillo crepador, que para el caso de PH 15 gsm será de entre 3,0 – 4,0 bar, mientras que para PH fino 21 gsm será entre 3,0 – 4,5 bar.



CHECK LIST CILINDRO SECADOR YANKEE ANTES Y DURANTE LA FABRICACIÓN						
FECHA						
HORA						
ORDEN DE FABRICACIÓN						
TIPO DE PAPEL		PH plano 15 gsm				
COATING		Requerido	CUMPLE	NO CUMPLE	RESPONSABLE	OBSERVACION
1	PVOH				Op. Máquina	Se debe dosificar según especificación de producto visado por Plan 5000
2	Adhesivo				Op. Máquina	
3	Modificador				Op. Máquina	
4	Release				Op. Máquina	
5	Temperatura Coating	≥ 50 °C			Op. Máquina	
6	Circuito de Coating limpio	ok			Asist. Producción	
7	Preparación y concentración de PVOH	ok			Asist. Producción	
CHILLING SHOWER		Requerido	CUMPLE	NO CUMPLE	RESPONSABLE	OBSERVACION
1	Regaderas Chilling shower limpias	ok			Asist. Producción	
2	Presión regadera	≥ 400 kPa			Op. Máquina	
3	Distancia entre boquillas	75 mm			Asist. Producción	
4	Distancia entre boquilla/cilindro	133 mm			Asist. Producción	
5	Temperatura TQ H ₂ O	45° ≤ t° ≤ 55°C			Op. Máquina	
CILINDRO YANKEE		Requerido	CUMPLE	NO CUMPLE	RESPONSABLE	OBSERVACION
1	Temperatura superficie Yankee (medida con cámara)	90° ≤ t° ≤ 120°C				
2	Verificar que no haya fuga de vapor en cilindro	ok				
3	Inspeccionar manto del cilindro visualmente	ok				
4	Inspeccionar cabezales visualm	ok				
5	Regadera de piso Cilindro Yanke	ok				
CREPADO		Requerido	CUMPLE	NO CUMPLE	RESPONSABLE	OBSERVACION
1	Raspadores de estación de limpieza en buen estado y aplicados	ok			Asist. Producción	Se debe realizar limpieza al momento de cambiar cuchillo
2	Cuchillo crepador en buen estado y aplicado	ok			Op. Máquina	Se debe realizar limpieza al momento de cambiar cuchillo
3	Stick out crepador y limpiador requerido	ok			Op. Máquina	
4	Presión de carga cuchillo crepador	3,0 ≤ P ≤ 4,0 bar			Op. Máquina	Se debe cambiar cuchillo fuera de rango
Seguridad		Requerido	CUMPLE	NO CUMPLE	RESPONSABLE	OBSERVACION
1	Extintores habilitados y en posición asignada	ok			Op. Máquina	
2	Acceso libre a extintores y mangueras de red de incendios	ok			Op. Máquina	
3	Sensores Fire Fly limpios	ok			Elec. Turno	

Figura 22: Planilla *check list* aplicable a PH 15 gsm y PH fino 21 gsm.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

A partir del estudio realizado en esta Habilitación Profesional y de los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- Desde el análisis de acuerdo a la estadística descriptiva, se concluye que en los papeles estudiados la Suavidad está inversamente relacionada con la dosificación de Modificador y Release, por tanto, para aumentar el valor de Suavidad es necesario disminuir la dosificación de estos aditivos. Además, para el caso del PH fino 21 gsm, al agregar nuevas variables independientes, estas nuevas variables influyen directamente en el comportamiento de los datos, por ende, influye el proceso, como, por ejemplo, se demuestra que el ángulo de la cuchilla crepadora y la refinación cabecero, son variables que tiene un impacto en la variable respuesta que es la Suavidad, no así la dosificación de PVOH que no influye en la fabricación de PH fino 21 gsm.
- Un uso excesivo de la dosificación de Release, provoca que la hoja pierda adhesividad a la superficie del cilindro Yankee, de este modo la hoja al momento de impactar con el cuchillo crepador, no permite generar un crepado adecuado, por tanto, la hoja pierde suavidad, genera corte por *flameo* y queda fuera de especificación técnica para comercializar.
- Las predicciones hechas por los modelos de regresión lineal múltiple para PH 15 gsm como para PH fino 21 gsm, son herramientas que permiten pronosticar, a partir de las variables de proceso, la posible Suavidad que resultaría como combinación lineal de las mismas, por tanto, para el modelo del PH 15 gsm se tiene un porcentaje de error entre el 0 y 4% mientras que para PH fino 21 gsm el porcentaje de error en la predicción es de 0 a 6%.
- El uso de cuchillos cerámicos en el proceso de fabricación de PH fino 21 gsm, como elemento mecánico responsable del crepado, provocó un aumento en la Suavidad de los jumbos producidos en los meses estudiados, lo que avala el uso de estos sobre los cuchillos metálicos con el fin de obtener valores más altos de Suavidad, y con ello se disminuye la variabilidad de las propiedades físicas del producto, lo que permite mayor estabilidad de máquina.
- A partir de la información recolectada respecto a las cortaduras de hoja, para PH 15 gsm existe un porcentaje de cortes por goteras (1,3%) que se puede resolver solo con mantenimiento a las instalaciones de FPC Tissue, mientras que para el PH fino 21 gsm se puede resolver un

porcentaje de los cortes ocasionados por “*flameo*” (2,9%) solo reduciendo la dosificación de Release.

7.2. Recomendaciones

Las recomendaciones que resultaron a partir del estudio son las siguientes:

- ✓ Evaluar el uso de una plataforma de gestión operacional que permita tener acceso remoto a aplicaciones y/o equipos, como, por ejemplo, Pi System. Esta plataforma pudiera ser acoplado al programa utilizado en máquina papelera Valmet (*QCS*), para toma de datos en línea, y con ello permitir realizar estudios predictivos, reportar estatus en línea, entre otras cosas, y así generar conocimiento que pueda ser de ayuda al momento de producir papeles tissue con rendimientos requeridos, tanto para la maquina como del proceso en general.
- ✓ Utilizar cuchillos cerámicos en la fabricación de PH 15 gsm, con el fin de estabilidad de máquina, disminución de cortes y aumento de suavidad en el papel producido.
- ✓ Realizar muestreo en cajones de entrada, para fabricar un papel en “idealidad” y así observar la acción del crepado, ya que según a teoría en el crepado se pierde entre un 50 a 70% de resistencia en la hoja, lo que sería causa de cortes ocasionados por cuchilla.

8. REFERENCIAS

- Bajpai, P. (2015). Pulp and paper industry: Chemicals. Elsevier.
- Glysling, A., Álvarez, V., Soto, D., Pardo, E., & Poblete, P. (2018). Anuario Forestal. Instituto Forestal, Área de Información y Economía Forestal. Santiago: Ministerio de Agricultura.
- RGB Grafisk, P. A. (2009). The Swedish Forest Industries – Facts and figures. From Skogs Industrierna - Swedish Forest Industries Federation:
http://www.mobelfakta.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=2c50d158-1db2-4cb0-bc48-b91e68d8cfc4&MediaArchive_ForceDownload=true
- Diaz-vaz, J. (2012). Madera de compresión en pinus radiata III: Propiedades de pulpas kraft. Maderas: Ciencia y Tecnología , 277-287.
- Hagberg Börjesson, M., & Ahlgren, E. O. (2015, Mayo). Pulp and Paper Industry. IEA ETSAP - Technology Brief , 1-9.
- Santos, R. B., Capanema, E. A., Balakshin, M. Y., Chang, H. M., & Jameel, H. (2011). Effect of hardwoods characteristics on kraft pulping process: emphasis on lignin structure. BioResources, 6(4), 3623-3637.
- Bahamondez V., C. (2017). Inventario Continuo de Bosques Nativos y Actualizacion de Plantaciones Forestales. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal. Santiago: INFOR.
- INFOR. (2019, Abril 15). Estadísticas Forestales. From Estadísticas Forestales - INFOR:
<https://wef.infor.cl/>
- Uutela, E. (2018, Enero 15). Papnews. From Fastmarkets RISI:
<https://www.papnews.com/insight/world-tissue-consumption-in-2017-steady-global-growth-continues/>
- BREF. (2010). Integrated Pollution Prevention and Control - Pulp and Paper Industry. Sevilla: European IPPC Bureau.
- CEPI. (2019, Abril 20). CEPI. From Confederation of European Paper Industries:
<http://www.cepi.org/node/22334>
- Ek, M., Gellerstedt, G., & Henriksson, G. (2009). Pulp and Paper Chemistry and Technology. Berlin, Germany: De Gruyter.
- Boudreau, J. (2013). New methods for evaluation of tissue creping and the importance of coating, paper and adhesion. Doctoral dissertation, Karlstads universitet, Sweden.

- Peña, D. (2013). *Análisis de Datos Multivariantes*. España: McGraw-Hill.
- González Carrasco, C. (2005). *Control Estadístico Multivariable mediante Análisis de Componentes Principales (PCA)*, aplicado al área de destilación Planta I Methanex Chile Limited. Universidad de Magallanes, Departamento de Química. Punta Arenas: Facultad de Ingeniería.
- Eriksson, L. T. (2013). *Multi-and Megavariate Data Analysis - Basic Principles and Applications (Vol. Third Edition)*. Malmö, Sweden: Umetrics Academy.
- Dunn, K. G. (2019, Enero 09). *Process Improvement Using Data*. From Learnche.org: <https://learnche.org/pid/>
- Shin, E.-C., Craft, B. D., Pegg, R. B., Dixon Phillips, R., & Eitenmiller, R. R. (2010). *Chemometric approach to fatty acid profiles in Runner-type peanut cultivars by principal component analysis (PCA)*. In P. Finglas, *Food Chemistry* (pp. 1262–1270). Georgia, Estados Unidos: ELSEVIER.
- Kumar, D. (2014). *India's Paper Demand to Rise 53% by 2020*. From Business Standar: www.business-standard.com/article/markets/indias-paper-demand-to-rise-53-by2020-114041800784_1.html
- Hernández García, I., & Hernández Perea, J. L. (2010). *Control Automático de Flujos Químicos para el Acondicionamiento del Secador Yankee*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Suma Badajoz, S. (2006). *Buenas Prácticas de Operación en Secadores Yankees para la Manufactura de Papeles Tissue*. Facultad De Ingeniería Química Y Textil. Lima, Perú: Universidad Nacional De Ingeniería.
- Teschke, K. y. (1998). *Industria del papel y de la pasta de papel*. In J. Mager Stellman, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (Vol. 3, pp. 72.1 - 72.21). Ginebra: OIT.
- Ripleybelieves. (2019, Junio 04). *Ripleybelieves*. From *Los Principales Países Productores De Pulpa Y Papel En El Mundo*: <https://es.ripleybelieves.com/top-pulp-and-paper-producing-countries-in-world-3888>
- Suárez Ibujes, M. O. (2019, Junio). *Monografías.com*. From *Coefficiente de correlación de Karl Pearson*: <https://www.monografias.com/trabajos85/coeficiente-correlacion-karl-pearson/coeficiente-correlacion-karl-pearson.shtml>

9. ANEXOS

9.1 ANEXO 1: Máquina papelera Valmet Advantage NTT 200HS

9.1.1 Máquina Papelera

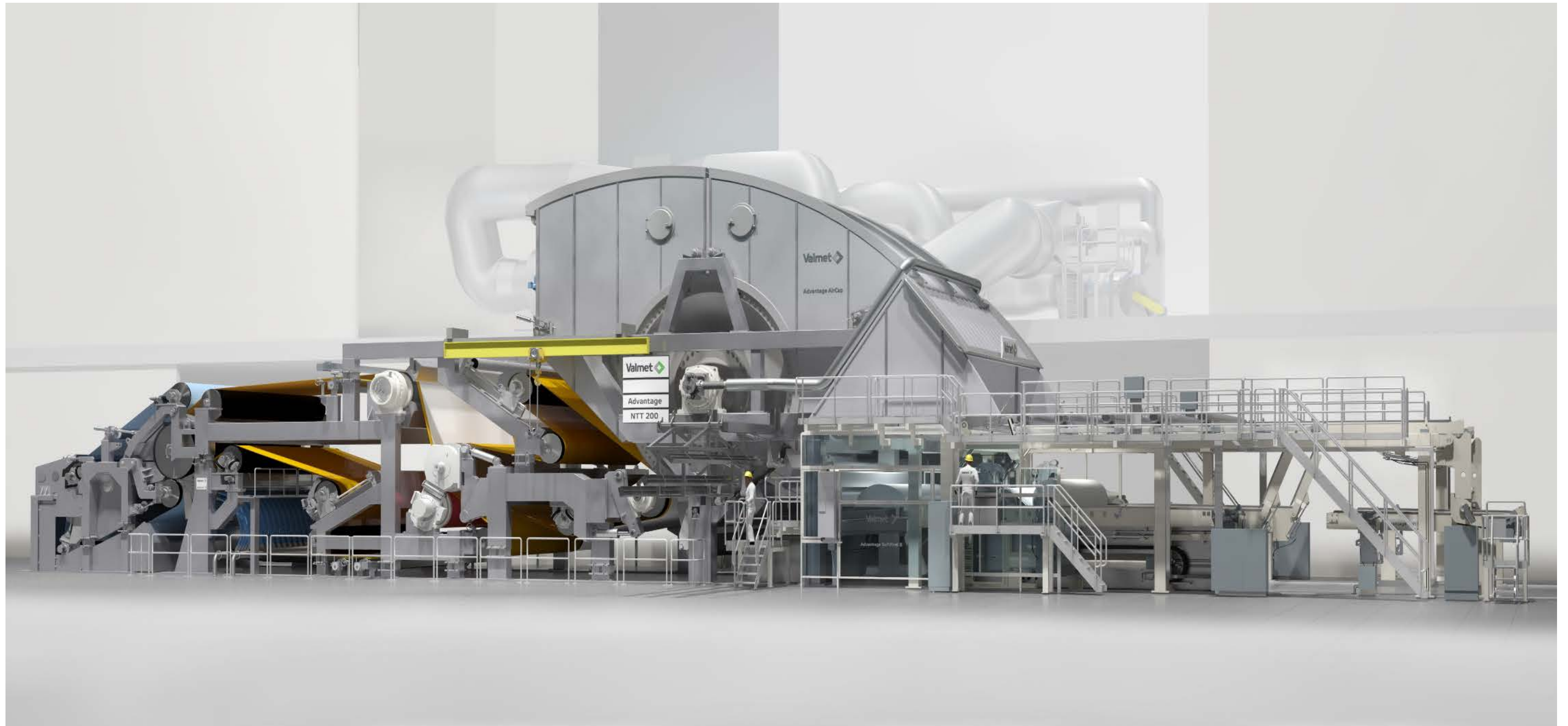


Figura A.1.1.1: Vista esquematizada de máquina papelera Valmet NTT 200HS Advantage

9.1.2 Plano máquina papelera

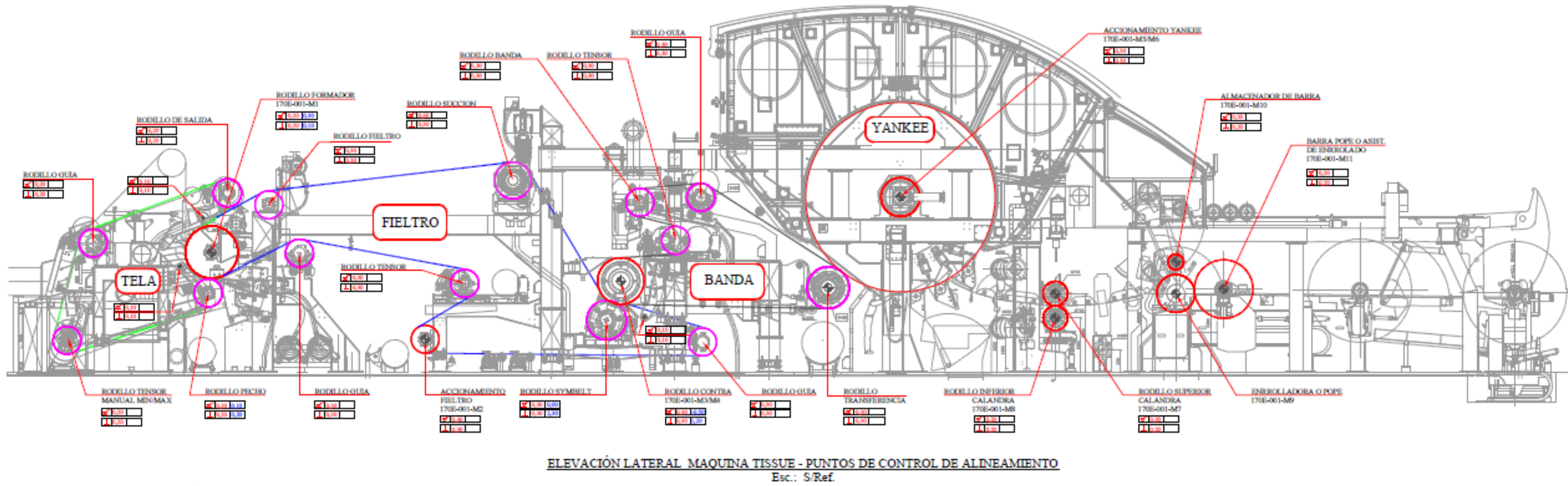


Figura A.1.2.1. Plano de máquina tissue representando los distintos rodillos y vestimentas.

9.2 ANEXO 2: Análisis de Componentes Principales

9.2.1 Resumen PCA PH 15 gsm

Tabla A.2.1.1. Peso de los componentes principales extraídos para PH 15 gsm

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
VYankee	0,195188	0,0223674	-0,150774	-0,708648
Stick out	-0,134719	-0,43608	0,142406	-0,201522
Pcarga	-0,33072	0,0139145	-0,207071	0,254128
PVOH	0,261447	-0,172393	0,476518	0,201126
Adh	0,321883	0,154969	0,397168	0,172788
Mod	-0,299754	0,114886	-0,0658094	0,344072
Rel	-0,363721	0,0015354	-0,25703	-0,00192247
PresReg	-0,18941	-0,485437	0,236152	-0,0960436
T° TQ H2O	0,276549	0,426531	-0,260542	-0,0700648
Gramaje	-0,0903204	0,375201	0,282556	0,0992679
RLONG	-0,230386	0,314868	0,370935	-0,351877
RTRANS	-0,338179	0,272861	0,318358	-0,106021
Suavidad	0,390271	-0,101273	-0,128334	0,211858

9.2.2 Resumen PCA PH fino 21 gsm

Tabla A.2.2.1. Peso de los componentes principales extraídos para PH fino 21 gsm

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
VYankee	0,393008	-0,0552366	-0,166877	0,088895
% Crep	0,0707006	-0,287772	-0,0992913	0,424067
° Cuchilla Crep	0,328401	-0,231034	0,243525	-0,0547263
Stick out	0,187463	0,140173	0,353346	-0,503148
Pcarga	-0,387855	-0,0583559	0,0690274	0,0122764
RefCab	0,348334	-0,163708	0,158867	0,0912035
Adh	-0,283569	-0,120973	0,295715	0,00627461
Mod	0,258357	0,288667	-0,248082	-0,1988
Rel	0,116948	0,439406	-0,354891	-0,186032
PresReg	-0,321811	0,097436	-0,312484	0,157886
T°TQ H2O	0,332916	-0,217214	0,0666714	0,149749
RLONG	0,00264192	0,352913	0,352472	0,479725
RTRANS	0,0449041	0,455424	0,361078	0,147503
ELONG	-0,16083	0,0384067	0,340985	-0,213376
Suavidad	-0,150557	-0,360216	-0,0147234	-0,358748

9.3 ANEXO 3: Regresión Lineal Múltiple

9.3.1 Variables de proceso utilizadas en regresión lineal múltiple PH 15 gsm y PH fino 21 gsm

Tabla A.3.1.1: Variables de proceso en modelo de regresión lineal múltiple.

Variable de proceso	Variable de regresión
Velocidad Yankee	x_1
Razón de crepado	x_2
Ángulo de cuchilla crepadora	x_3
Stick out	x_4
Presión de carga	x_5
Refinación cabecero	x_6
Dosificación PVOH	x_7
Dosificación Adhesivo	x_8
Dosificación Modificador	x_9
Dosificación Release	x_{10}
Presión de regadera de coating	x_{11}
Temperatura del tanque de agua de dilución.	x_{12}

9.3.2 Regresión lineal múltiple PH 15 gsm

Tabla A.3.2.1: Análisis de Varianza para regresión lineal múltiple PH 15 gsm

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	12	641,198794	53,4332328	34,1270683	1,7862E-62
Residuos	713	1116,35417	1,56571412		
Total	725	1757,55296			

Tabla A.3.2.2. Estimaciones para los coeficientes de regresión PH 15 gsm

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	101,413742	26,6622182	3,80364986	0,0001548	49,06789714	153,7595876	49,06789714	153,7595876
Variable X 1	-0,00085975	0,00068752	-1,25049683	0,211528339	-0,00220956	0,000490066	-0,002209557	0,000490066
Variable X 2	-0,03045249	0,0651299	-0,46756548	0,640238223	-0,15832182	0,097416828	-0,158321816	0,097416828
Variable X 3	-0,07396028	0,11603136	-0,63741628	0,524058354	-0,30176427	0,153843713	-0,301764271	0,153843713
Variable X 4	-0,0840768	0,03036439	-2,76892796	0,005770234	-0,1436911	-0,0244625	-0,143691097	-0,024462498
Variable X 5	-1,5125856	0,28976348	-5,22006984	2,34853E-07	-2,08147728	-0,94369391	-2,08147728	-0,94369391
Variable X 6	-0,00040963	0,00346766	-0,11812769	0,90599975	-0,00721767	0,006398415	-0,007217668	0,006398415
Variable X 7	0,53535655	0,14242593	3,75884176	0,000184674	0,255732181	0,814980918	0,255732181	0,814980918
Variable X 8	-0,25875886	0,3123837	-0,8283366	0,407757081	-0,87206076	0,354543043	-0,872060756	0,354543043
Variable X 9	-0,61477003	0,12264905	-5,01243202	6,78699E-07	-0,8555665	-0,37397355	-0,855566503	-0,37397355
Variable X 10	-0,21824081	0,13448371	-1,62280482	0,105073169	-0,48227223	0,045790612	-0,482272227	0,045790612
Variable X 11	-0,01659539	0,05607309	-0,29596	0,767346807	-0,1266835	0,093492719	-0,126683502	0,093492719
Variable X 12	0,06318075	0,0248357	2,54394896	0,011170627	0,014420904	0,111940595	0,014420904	0,111940595

9.3.3 Regresión lineal múltiple ajustada PH 15 gsm

Tabla A.3.3.1: Análisis de varianza ajustada para PH 15 gsm.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	12	4582714,58	381892,882	239394,165	0
Residuos	714	1139,00653	1,59524724		
Total	726	4583853,59			

Tabla A.3.3.2: Estimaciones para los coeficientes de regresión ajustados PH 15 gsm

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Variable X 1	-0,0009809	0,00069323	-1,41496928	0,157513473	-0,00234192	0,000380115	-0,002341918	0,000380115
Variable X 2	-0,0241434	0,06571996	-0,36736805	0,713453361	-0,15317089	0,104884064	-0,153170893	0,104884064
Variable X 3	-0,0263338	0,11643662	-0,22616418	0,821138459	-0,25493289	0,202265304	-0,254932891	0,202265304
Variable X 4	-0,087729	0,03063409	-2,86376968	0,00430913	-0,14787266	-0,02758532	-0,147872658	-0,027585316
Variable X 5	-1,423783	0,29153262	-4,88378646	1,28519E-06	-1,99614671	-0,85141938	-1,996146712	-0,851419382
Variable X 6	0,00104165	0,00347896	0,29941341	0,764711769	-0,00578856	0,007871855	-0,005788562	0,007871855
Variable X 7	0,53516487	0,1437629	3,72255208	0,000212744	0,252916322	0,817413425	0,252916322	0,817413425
Variable X 8	-0,0317692	0,30950887	-0,10264377	0,918274523	-0,63942546	0,575887147	-0,639425461	0,575887147
Variable X 9	-0,5168103	0,12104026	-4,26973848	2,22158E-05	-0,75444766	-0,27917289	-0,754447662	-0,279172887
Variable X 10	-0,0989627	0,1320041	-0,74969412	0,453685891	-0,35812531	0,160199906	-0,358125307	0,160199906
Variable X 11	0,18286887	0,0200412	9,12464478	7,23944E-19	0,143522129	0,222215601	0,143522129	0,222215601
Variable X 12	0,13520395	0,01622154	8,33484097	3,97545E-16	0,103356333	0,167051572	0,103356333	0,167051572

9.3.4 Regresión lineal múltiple PH fino 21 gsm

Tabla A.3.4.1: Análisis de Varianza para regresión lineal múltiple PH fino 21 gsm

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	12	277,21816	23,1015133	16,4432575	1,8614E-29
Residuos	483	678,577889	1,40492317		
Total	495	955,796048			

Tabla A.3.4.2. Estimaciones para los coeficientes de regresión PH fino 21 gsm

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-87,5605401	34,64022983	-2,52771245	0,011798642	-155,6247	-19,4963807	-155,6246996	-19,49638066
Variable X 1	0,001677052	0,001728699	0,970123279	0,332470593	-0,00171965	0,005073752	-0,001719649	0,005073752
Variable X 2	0,020845624	0,045737079	0,455770774	0,648759659	-0,0690226	0,110713845	-0,069022597	0,110713845
Variable X 3	0,002832056	0,048872808	0,057947486	0,953814424	-0,09319752	0,098861633	-0,09319752	0,098861633
Variable X 4	0,403873129	0,091815204	4,398760922	1,34047E-05	0,223466571	0,584279688	0,223466571	0,584279688
Variable X 5	0,259248713	0,294650753	0,87985084	0,379377664	-0,31970691	0,838204337	-0,319706911	0,838204337
Variable X 6	-0,02115997	0,006960469	-3,04002095	0,002494032	-0,03483651	-0,00748343	-0,034836513	-0,007483432
Variable X 7	-0,15990355	0,271013623	-0,59002032	0,555452945	-0,69241486	0,372607773	-0,692414863	0,372607773
Variable X 8	0,856982269	0,587844746	1,457837763	0,145535148	-0,29806661	2,012031145	-0,298066606	2,012031145
Variable X 9	1,072090312	0,305233865	3,51235703	0,000485863	0,472340063	1,671840562	0,472340063	1,671840562
Variable X 10	-1,49972451	0,240913414	-6,22515981	1,0455E-09	-1,9730923	-1,02635671	-1,973092296	-1,026356715
Variable X 11	0,3650882	0,073154123	4,990671529	8,41316E-07	0,221348567	0,508827833	0,221348567	0,508827833
Variable X 12	0,099173944	0,041726229	2,376777037	0,017853332	0,017186591	0,181161296	0,017186591	0,181161296

9.3.5 Regresión lineal múltiple ajustada PH fino 21 gsm

Tabla A.3.5.1. Análisis de varianza ajustada para PH fino 21 gsm.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	12	3741314,63	311776,219	219473,09	0
Residuos	484	687,554407	1,42056696		
Total	496	3742002,18			

Tabla A.3.5.2. Estimaciones para los coeficientes de regresión ajustados PH fino 21 gsm

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Variable X 1	0,001869722	0,001736607	1,076652376	0,28217195	-0,0015425	0,005281941	-0,001542498	0,005281941
Variable X 2	0,034943968	0,045647765	0,765513243	0,444339114	-0,05474829	0,124636231	-0,054748295	0,124636231
Variable X 3	0,011648246	0,049018849	0,237627897	0,812270267	-0,08466778	0,107964277	-0,084667785	0,107964277
Variable X 4	0,257192668	0,071547516	3,59471134	0,000358047	0,116610567	0,397774769	0,116610567	0,397774769
Variable X 5	0,274959668	0,29622075	0,928225547	0,353753251	-0,3070778	0,856997137	-0,307077802	0,856997137
Variable X 6	-0,02112871	0,006999103	-3,01877378	0,002671937	-0,03488109	-0,00737633	-0,03488109	-0,007376329
Variable X 7	0,000455947	0,264946618	0,001720902	0,998627629	-0,52013169	0,521043581	-0,520131686	0,521043581
Variable X 8	0,711390527	0,5882642	1,209304471	0,227136272	-0,44447653	1,867257584	-0,444476529	1,867257584
Variable X 9	0,925306994	0,301322922	3,070815147	0,002254826	0,333244381	1,517369607	0,333244381	1,517369607
Variable X 10	-1,36109915	0,235890611	-5,77004378	1,41605E-08	-1,82459529	-0,89760301	-1,824595294	-0,897603013
Variable X 11	0,1827147	0,012148369	15,04026607	3,18327E-42	0,158844644	0,206584756	0,158844644	0,206584756
Variable X 12	0,027515907	0,030787211	0,893744694	0,371902694	-0,03297719	0,088009003	-0,03297719	0,088009003

9.4 ANEXO 4: Variables de proceso para Análisis de Componentes Principales.

Tabla A.4.1.1: Variables físicas y propiedades del papel para PCA

	S.I.	PH plano 15 gsm	PH fino 21 gsm
Velocidad Yankee	m/min	√	√
Razón de Crepado	%	×	√
Cuchilla Crepadora	°	×	√
Stick out	mm	√	√
Presion de carga	bar	√	√
Refinación Cabecero	kWh/t	×	√
PVOH	mg/m ²	√	×
Adhesivo	mg/m ²	√	√
Modificador	mg/m ²	√	√
Release	mg/m ²	√	√
Presión regadera Coating	kPa	√	√
Temperatura TQ H ₂ O	°C	√	√
Gramaje	g/m ²	√	×
Espesor	μm	×	×
Resistencia Longitudinal	N/m	√	√
Resistencia Transversal	N/m	√	√
Elongación	%	×	×
Suavidad	HF	√	√

9.5 ANEXO 5: Análisis de Cortaduras PH 15 gsm

9.5.1 Diagrama de Pareto y tabla resumen de cortes Marzo 2019.

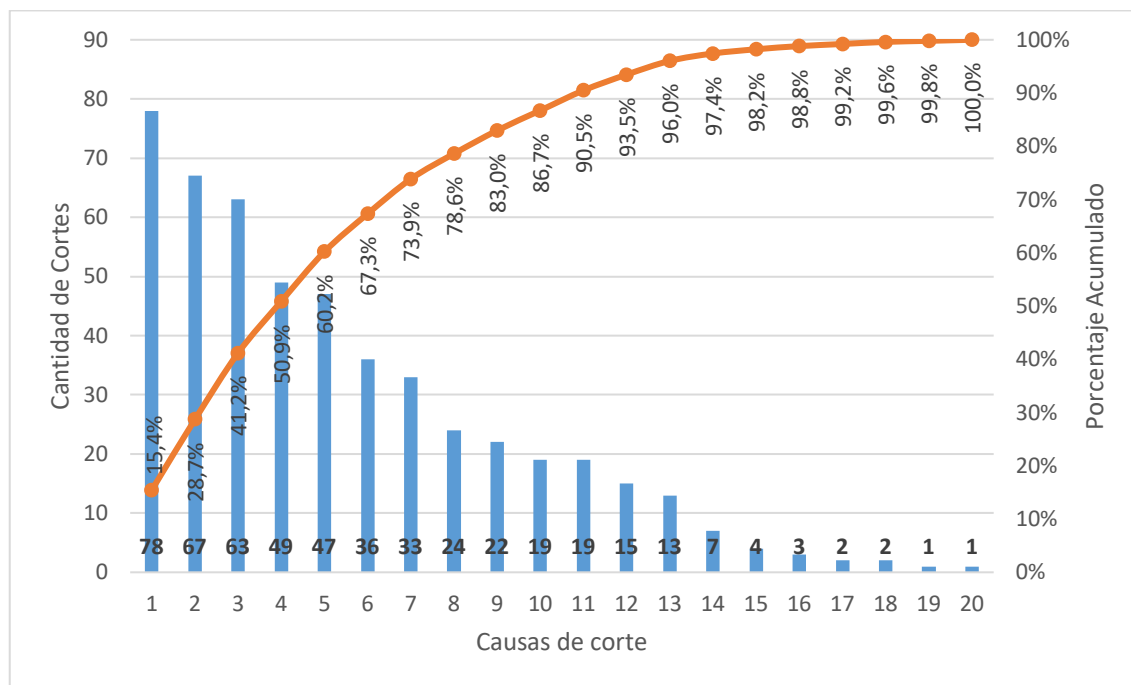


Figura A.5.1.1: Diagrama de Pareto de cortes Marzo 2019

Tabla A.5.1.1. Causas de cortes identificadas Marzo 2019

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	11	Slitter
2	Orilla hoja picada prensa	12	Reventadura de prensa
3	Orilla hoja picada yankee	13	Orilla refilo picado prensa
4	Rutina de aseo	14	Cambio raspador crepador o limpiador defectuoso
5	No identificado	15	Orilla refilo picado yankee
6	Defecto de refilo	16	Goteras
7	Falla de enganche	17	F/S Falla electrocontrol
8	Reventadura de yankee	18	Vacías
9	Embolsamiento	19	F/S Falla mecánica
10	Ensuciamiento	20	Falla o problema operacional

9.5.2 Diagrama de Pareto y tabla resumen de cortes Abril 2019.

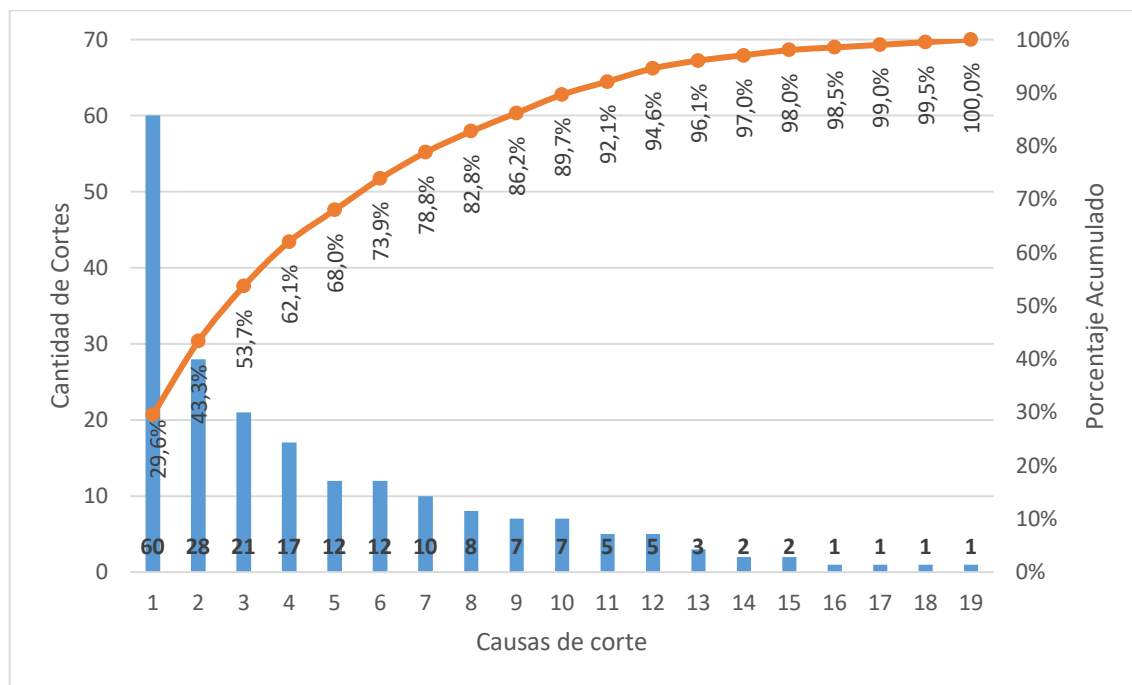


Figura A.5.2.1: Diagrama de Pareto de cortes Abril 2019

Tabla A.5.2.1. Causas de Cortes identificados Abril 2019

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	11	Orilla hoja picada prensa
2	Rutina de aseo	12	Orilla hoja picada yankee
3	Reventadura de yankee	13	Goteras
4	Cambio de raspador crepador o limpiador defectuoso	14	Orilla refilo picado prensa
5	Falla de enganche	15	Slitter
6	No identificado	16	F/S aseo químico vestimenta
7	Desviación de proceso	17	F/S Falla electrocontrol
8	Reventadura de prensa	18	Normalización
9	Embolsamiento	19	Vacía
10	Ensuciamiento		

9.5.3 Diagrama de Pareto y tabla resumen de cortes Mayo 2019.

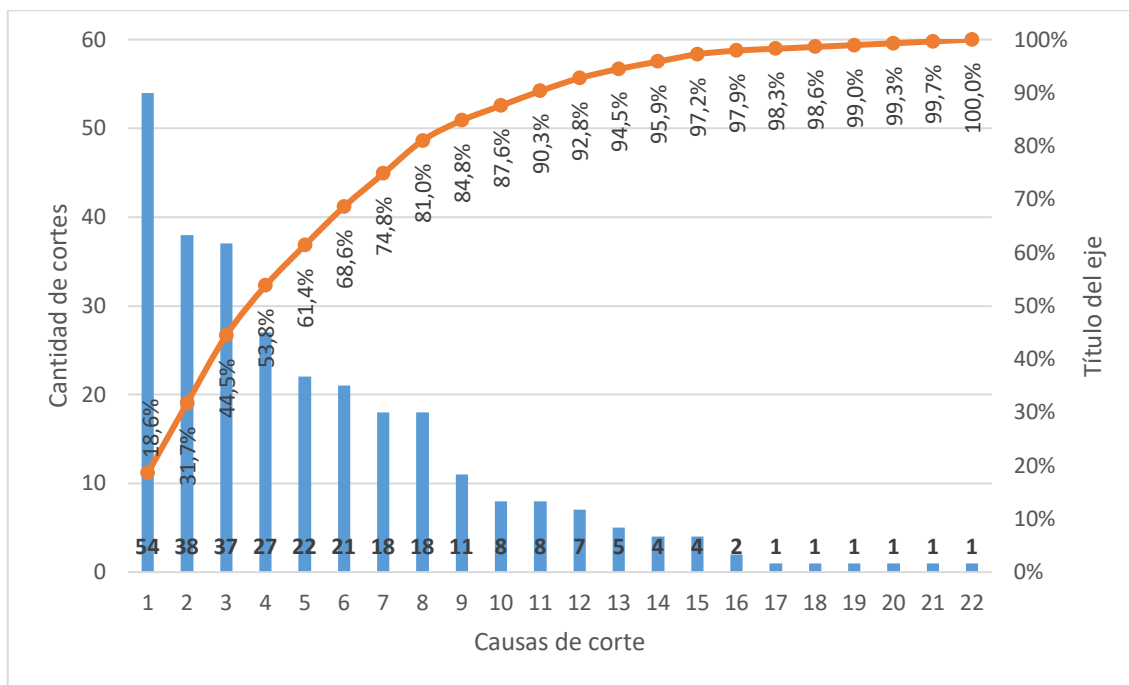


Figura A.5.3.1: Diagrama de Pareto de cortes Mayo 2019

Tabla A.5.3.1. Causas de Cortes identificados Mayo 2019

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	12	Goteras
2	Rutina de aseo	13	Orilla refilo picado prensa
3	Ensuciamiento	14	Embolsamiento
4	Falla de enganche	15	Orilla hoja picada yankee
5	Defecto de refilo	16	Orilla hoja picada prensa
6	Reventadura de prensa	17	F/S cambio de vestimenta no programada
7	No identificado	18	F/S Falla electrocontrol
8	Slitter	19	Falla o problema operacional
9	Reventadura de yankee	20	Flameo
10	Cambio raspador crepador o limpiador defectuoso	21	Normalización
11	Desviación de proceso	22	Orilla refilo picado yankee

9.6 ANEXO 6: Análisis de Cortaduras PH fino 21 gsm

9.6.1 Diagrama de Pareto y tabla resumen de cortes Marzo 2019.

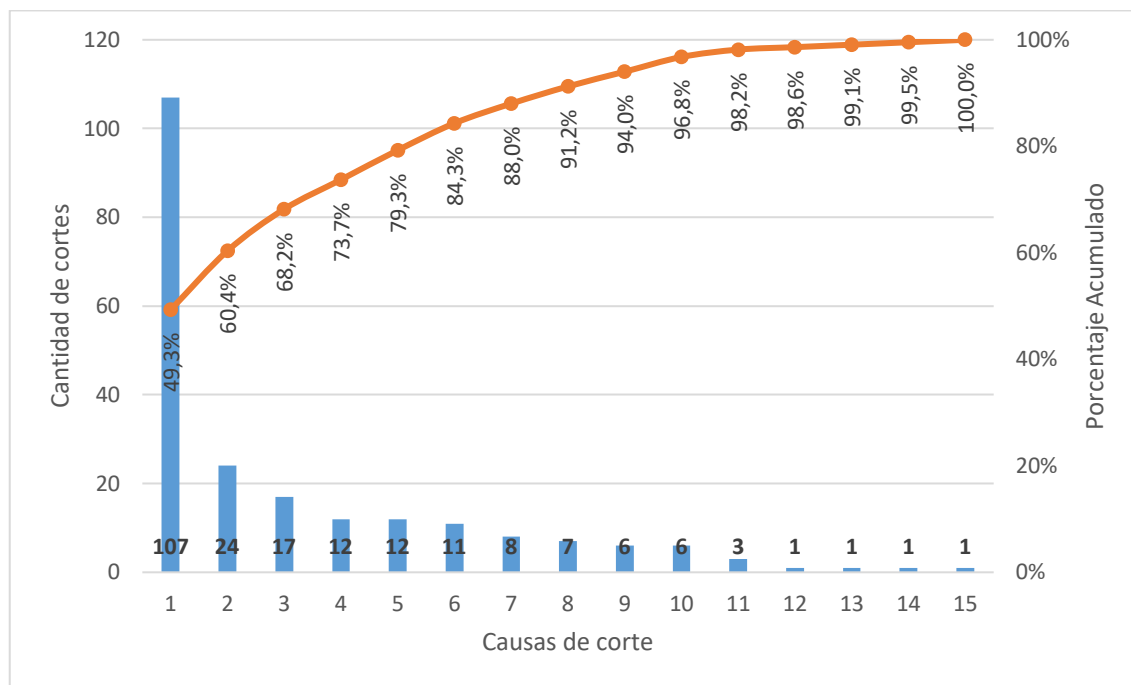


Figura A.6.1.1: Diagrama de Pareto de cortes PH fino 21 gsm Marzo 2019

Tabla A.6.1.1. Causas de Cortes identificados PH fino 21 gsm Marzo 2019

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	9	Desviación del proceso
2	Rutina de aseo	10	No identificado
3	Cambio de crepador o limpiador defectuoso	11	Defecto de refilo
4	Reventadura de yankee	12	F/S falla electrocontrol
5	Slitter	13	Orilla hoja picada prensa
6	Flameo	14	Orilla hoja picada yankee
7	Falla de enganche	15	Orilla refilo picado yankee
8	Ensuciamiento		

9.6.2 Diagrama de Pareto y tabla resumen de cortes Abril 2019.

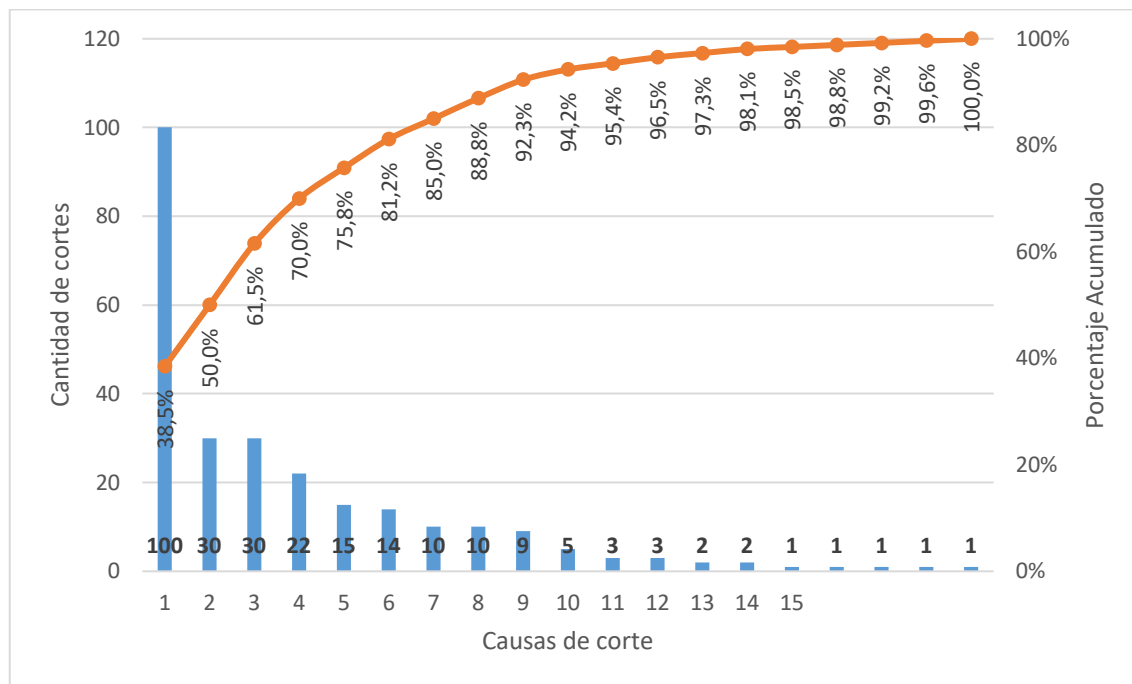


Figura A.6.2.1: Diagrama de Pareto de cortes PH fino 21 gsm Abril 2019

Tabla A.6.2.1. Causas de Cortes identificados PH fino 21 gsm Abril 2019

N°	Causa	N°	Causa
1	Cambio de Jumbo	11	Flameo
2	Falla de enganche	12	Orilla hoja picada prensa
3	Rutina de aseo	13	Embolsamiento
4	Reventadura de yankee	14	Orilla hoja picada yankee
5	Ensuciamiento	15	Desviación del proceso
6	Slitter	16	F/S falla electrocontrol
7	Cambio de crepador o limpieza defectuoso	17	Falla electrocontrol
8	No identificado	18	Goteras
9	Defecto de refilo	19	Orilla refilo picado yankee
10	Reventadura de prensa		