



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL A
PARTIR DE CARTÓN Y PAPEL RECICLADO PARA EL
MUNICIPIO DEL CANTÓN IBARRA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CARLOS ALBERTO PILCO SAYAGO

DIRECTOR: Ing. SEGUNDO HUGO CALDERÓN MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Carlos Alberto Pilco Sayago

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, CARLOS ALBERTO PILCO SAYAGO declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de abril de 2022

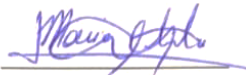


Carlos Alberto Pilco Sayago

100416397-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto Técnico. “**DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CARTÓN Y PAPEL RECICLADO PARA EL MUNICIPIO DEL CANTÓN IBARRA**” realizado por el señor: **CARLOS ALBERTO PILCO SAYAGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022 – 04 – 26
Ing. Segundo Hugo Calderón MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022 – 04 – 26
Ing. Marlene Jacqueline García Veloz MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022 – 04 – 26

DEDICATORIA

Este Trabajo de Titulación fruto de mi esfuerzo y constancia va dedicado con mucho amor a mi padre y a mi madre, Miguel y Luz María quienes, gracias a su trabajo, apoyo y sacrificio en todos estos años, han podido lograr mi formación profesional. Es un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos: Anahí y Miguel Ángel por estar siempre presentes, en las buenas y en las malas durante toda mi formación profesional.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por iluminar mi vida y brindarme la oportunidad de cumplir uno de mis sueños anhelados.

A mis tíos que han sido un apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera.

De igual manera a todos y cada una de las personas que me brindaron su amistad en el transcurso de mi vida estudiantil.

Por último, agradezco al Ing. Hugo Calderón y a la Ing. Marlene García. Que con su experiencia y conocimiento han hecho posible la conclusión del presente trabajo.

Carlos

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación del proyecto.....	3
1.3. Línea base del proyecto.....	4
1.4. Beneficiarios directos e indirectos.....	4
1.4.1. <i>Beneficiarios Directos</i>	4
1.4.2. <i>Beneficiarios Indirectos</i>	4
1.5. Localización del Proyecto.....	5
1.6. Objetivos.....	5
1.6.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.6.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Cartón.....	6
2.2. Papel.....	6
2.2.1. <i>Fuentes principales y secundarias para obtención de Papel</i>	6
2.3. Proceso de elaboración del Papel.....	7
2.3.1. <i>Preparación de la materia prima</i>	7
2.3.2. <i>Pulpeado y triturado</i>	7
2.3.3. <i>Tamizado y limpieza Centrifuga</i>	7
2.3.4. <i>Destintado</i>	8
2.3.5. <i>Formación de la hoja</i>	8
2.3.6. <i>Prensado y secado</i>	8

2.4.	Evaluación de la calidad del papel.....	8
2.4.1.	<i>Gramaje</i>	8
2.4.2.	<i>Resistencia a la ruptura por tracción</i>	9
2.4.3.	<i>Espesor o calibre</i>	9
2.5.	Tipo de estudio	10
2.5.1.	<i>Métodos</i>	10

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	11
3.1.	Técnicas.....	11
3.2.	Procedimiento a nivel de laboratorio	16
3.2.1.	<i>Identificación de variables de proceso</i>	16
3.2.2.	<i>Diagrama de proceso para elaboración de papel</i>	27
3.2.3.	<i>Diseño de ingeniería para la obtención de papel</i>	34
3.3.	Requerimientos de Equipos y Maquinarias.....	76
3.3.1.	<i>Costo Insumos</i>	76
3.3.2.	<i>Recursos humanos</i>	76
3.3.3.	<i>Costo de maquinaria y equipos</i>	77
3.3.4.	<i>Recursos totales</i>	77

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
4.1.	Caracterización de papel reciclado.....	78
4.2.	Caracterización de cartón reciclado	78
4.3.	Blancura de la lámina de papel.....	78
4.4.	Colorimetría en lámina de cartón.....	80
4.5.	Resistencia a la ruptura en lámina de papel.....	82
4.6.	Resistencia a la ruptura en lámina de cartón	83
4.7.	Variables de calidad de las láminas de papel.....	83
4.8.	Variables de calidad de las láminas de cartón.....	84

CONCLUSIONES.....	85
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	86
----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Molienda.....	12
Tabla 2-3:	Determinación de consistencia	13
Tabla 3-3:	Determinación de cenizas	14
Tabla 4-3:	Determinación de humedad	15
Tabla 5-3:	Datos para el cálculo del porcentaje de material	17
Tabla 6-3:	Datos para el cálculo del rendimiento de la operación de tamizado.....	19
Tabla 7-3:	Datos experimentales para el tamizado del papel.....	19
Tabla 8-3:	Datos para el cálculo del rendimiento de la operación de tamizado.....	20
Tabla 9-3:	Datos experimentales para el tamizado de cartón.....	20
Tabla 10-3:	Datos para el cálculo de rendimiento del proceso de destintado	21
Tabla 11-3:	Datos de proceso de lavado de pulpa filtrada.....	23
Tabla 12-3:	Datos para la preparación de la mezcla	23
Tabla 13-3:	Datos para la determinación de consistencia de pulpa.	23
Tabla 14- 3:	Datos de proceso de formación de hoja.....	25
Tabla 15-3:	Dimensiones de la mesa de selección de materia prima.....	53
Tabla 16-3:	Dimensiones para la capacidad de la mesa.....	53
Tabla 17-3:	Dimensiones para la capacidad del Pulper	55
Tabla 18-3:	Fuerza de corte de la cuchilla	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Fuentes de fibra para elaboración de papel.....	6
Figura 1-3:	Materia prima para obtención de papel blanco.	16
Figura 2-3:	Materia prima para obtención de cartón.	16
Figura 3-3:	Troceado de materia prima para obtención de papel blanco.....	18
Figura 4-3:	Troceado de materia prima para la obtención de cartón.	18
Figura 5-3:	Molienda de materia prima	19
Figura 6-3:	Destintado de papel reciclado	21
Figura 7-3:	Filtrado de pulpa	22
Figura 8-3:	Solución alcalina del filtrado	22
Figura 9-3:	Pulpa lavada.....	22
Figura 10-3:	Elaboración de mezcla	23
Figura 11-3:	Formación de hoja.....	25
Figura 12-3:	Prensado de hoja	26
Figura 13-3:	Lámina de papel y cartón obtenidas al final del proceso.	26
Figura 1- 4:	Gráfica CIE XYZ del estándar de papel bond.	79
Figura 2- 4:	Gráfica CIE XYZ de la muestra m1.....	80
Figura 3- 4:	Gráfica CIE XYZ del estándar de cartón.	81
Figura 4- 4:	Gráfica CIE XYZ de la muestra n1.....	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Diagrama de proceso para elaboración de papel.	27
Gráfico 2-3:	Diagrama de proceso para elaboración de cartón.	31
Gráfico 3-3:	Balance de masa en la inspección y selección de la materia prima-papel.	34
Gráfico 4-3:	Balance de masa en la inspección y selección de la materia prima-papel.	35
Gráfico 5-3:	Balance de masa en el troceado del papel.	35
Gráfico 6-3:	Balance de masa en el troceado del cartón.	36
Gráfico 7-3:	Balance de masa en la molienda de papel.	37
Gráfico 8-3:	Balance de masa en la molienda de cartón.	37
Gráfico 9-3:	Balance de masa en el tamizado de papel.	38
Gráfico 10-3:	Balance de masa en el tamizado de cartón.	39
Gráfico 11-3:	Balance de masa en el destintado de papel.	39
Gráfico 12-3:	Balance de masa en el destintado de cartón.	40
Gráfico 13-3:	Balance de masa en el filtrado de pulpa de papel.	41
Gráfico 14-3:	Balance de masa en el filtrado de pulpa de cartón.	42
Gráfico 15-3:	Balance de masa en el lavado de pulpa de papel.	42
Gráfico 16-3:	Balance de masa en el lavado de pulpa de cartón.	43
Gráfico 17-3:	Balance de masa en la elaboración de mezcla de papel.	44
Gráfico 18-3:	Balance de masa en la elaboración de mezcla de cartón.	44
Gráfico 19-3:	Balance de masa en la formación de láminas de papel.	45
Gráfico 20-3:	Balance de masa en la formación de láminas de cartón.	46
Gráfico 21-3:	Balance de masa en el prensado de hoja de papel.	47
Gráfico 22-3:	Balance de masa en el prensado de hoja de cartón.	48
Gráfico 23-3:	Balance de masa en el secado de lámina de papel.	49
Gráfico 24-3:	Balance de masa en el secado de lámina de cartón.	50
Gráfico 25-3:	Dimensiones para la capacidad de la mesa.	54
Gráfico 26-3:	Dimensiones del triturador industrial.	57
Gráfico 27-3:	Dimensiones del tanque de destintado.	64
Gráfico 28-3:	Dimensiones de la formadora de papel.	69
Gráfico 29-3:	Dimensiones de la prensa hidráulica de papel.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA ETAPA DE DESTINTADO DE LA PULPA DE PAPEL Y CARTÓN
- ANEXO B:** NORMA NTE INEN-ISO 536:2013. PAPELES Y CARTÓN.
- ANEXO C:** NORMA NTE INEN-ISO 1405:2013 PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA RUPTURA POR TRACCIÓN EN SECO
- ANEXO D:** NORMA NTE INEN-ISO 1399:2013. PAPELES Y CARTONES.DETERMINACIÓN DEL ESPESOR.
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL PAPEL RECICLADO
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL CARTÓN RECICLADO
- ANEXO G:** LÁMINAS DE PAPEL Y CARTÓN RECICLADO OBTENIDAS AL FINAL DEL PROCESO
- ANEXO H:** DISEÑO DE EQUIPOS
- ANEXO I:** DISEÑO DE EQUIPOS
- ANEXO J:** DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue diseñar un proceso para la elaboración de papel y cartón a partir de fibras recicladas. En primer lugar, se obtuvo pulpa de papel y cartón mediante el proceso de molienda y tamizado. A continuación, se destintó la pulpa de papel y cartón en condiciones alcalinas, en esta etapa se trabajó con tres variables: concentración de (hidróxido de sodio, silicato de sodio y tensoactivos), agitación y flujo de aire, manteniendo constante un flujo de aire de 10 L/min y tiempo de agitación de 20 minutos, posteriormente se realizó un lavado con agua para eliminar restos de tintas, por consiguiente, se formaron láminas de papel y cartón las cuales pasaron a un prensado manual, donde se eliminó la mayor cantidad de agua retenida en las láminas, posteriormente, fueron secadas en una estufa por un tiempo de 16 horas y una temperatura de 35°C. Las láminas de papel y cartón se caracterizaron, determinando un gramaje para la lámina de papel de 1,15 g/m² y para la lámina de cartón de 1,08 g/m², un calibre para el papel de 1,31 mm y para el cartón de 1,36 mm. Finalmente la resistencia a la ruptura presentó los valores para papel de 163,40 N/cm² y para el cartón de 27,55 N/cm². Se recomienda realizar tres repeticiones de la etapa de destintado y lavado de la pulpa, para no utilizar los blanqueadores de pulpa de papel.

Palabras clave: <INGENIERÍA QUÍMICA>, <DISEÑO DE PROCESOS>, <OBTENCIÓN DE PAPEL>, <DESTINTADO DE PAPEL Y CARTÓN>, <GRAMAJE>, <RESISTENCIA A LA RUPTURA>.



1354-DBRA-UTP-2022



Firmado electrónicamente por:

LEONARD
O FABIO
MEDINA
NUSTE

ABSTRACT

The aim of this research was to design a process for the production of paper and board from recycled fibers. First, paper and board pulp were obtained by grinding and screening. Next, the paper and board pulp were de-inked under alkaline conditions, at this stage three variables were used: concentration of (sodium hydroxide, sodium silicate and surfactants), agitation and air flow, maintaining a constant air flow of 10 L/min and agitation time of 20 minutes. Afterwards, the paper and cardboard sheets were washed with water to eliminate ink residues, and then formed into paper and cardboard sheets, which were manually pressed to eliminate most of the water retained in the sheets. After that they were dried in an oven for 16 hours at a temperature of 35°C. The paper and cardboard sheets were characterized, determining a grammage for the paper sheet of 1.15 g/m² and for the cardboard sheet of 1.08 g/m², a caliber for the paper of 1.31 mm and for the cardboard of 1.36 mm. Finally, the breaking strength showed values for paper of 163.40 N/cm² and for cardboard of 27.55 N/cm². It is recommended to carry out three repetitions of the de-inking and pulp washing stage, in order not to use paper pulp bleaching agents.

Key words: <CHEMICAL ENGINEERING>, <PROCESS DESIGN>, <PAPER OBTAINMENT>, <PAPER AND CARDBOARD DE-INKING>, <GRAMMING>, <CRACKING RESISTANCE>.

Firmado digitalmente por
ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.07.13 01:45:00 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El consumo de papel y cartón a nivel mundial se prevé para 2030 en unos 490 millones de toneladas, esto debido al comercio electrónico y el reparto a domicilio los cuales tienen una gran demanda de envases y embalajes (Ekos, 2021, párr.4). En este contexto en Ecuador se elaboran productos finales derivados del procesamiento de la pulpa de papel, pero no es un país productor de esta materia prima. Por lo cual se recurre a importaciones de Colombia y Brasil principalmente. Ecuador gasta un estimado de \$ 345.784 en importaciones de pulpa de papel, puesto que gracias a esto se puede cubrir la demanda local de este material. La industria del papel y cartón en el 2019 generó ingresos de 1701 millones dólares (Ekos, 2021, párr.7). Por lo cual hace que este material sea altamente consumido en el país.

Por otro lado, la alta demanda de papel y cartón ha hecho que este material sea reciclado, puesto que la tala indiscriminada de árboles de donde se obtiene fibra virgen ha generado repercusiones ambientales. Actualmente, el reciclaje de papel y cartón se realiza desde los contenedores de basura, es decir, que este residuo no tiene un centro de acopio apropiado.

Además, lo que se logra recolectar se lo lleva a lugares de almacenamiento y lo que no se alcanza a reciclar va a parar a los rellenos sanitarios de las diferentes ciudades del país. La falta de aprovechamiento de este material, sumado al mal manejo de los residuos por parte de los municipios de las diferentes ciudades de Ecuador. Nos conlleva a seguir dependiendo de fibras vírgenes importadas y el impacto ambiental seguirá en aumento.

Por tanto, en esta investigación se propone utilizar las fibras recicladas como fuente de materia prima, aplicando un destintado con solución alcalina para la obtención final de láminas de papel y cartón comerciales. De esta manera se aprovecha este residuo lo cual en gran medida reemplaza las fuentes maderables de pasta de papel, las cuales son atacadas año tras año lo cual con el tiempo no se hará sostenible, además de brindar una opción amigable con el ambiente.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

A nivel mundial, las fábricas producen más de 400 millones de toneladas de papel al año. Esta industria genera puestos de trabajo, pero contribuye a su vez a la deforestación. La producción mundial de papel y cartón fue de aproximadamente 407 millones de toneladas métricas en 2015. Un tercio de la producción fue destinado al papel gráfico y más de la mitad de esa producción se empleó en papel de embalaje. Se espera que el consumo mundial de papel en 2020 ascienda a 500 millones de toneladas (Bajpai, 2018, párr.3).

El papel y cartón representan casi el 30% del total de residuos sólidos urbanos generados. A pesar de una alta tasa de reciclaje de aproximadamente el 60% en los países del Norte, los residuos de papel y cartón todavía representan una cantidad sustancial del total de vertederos, con un 15% en Estados Unidos y aproximadamente 18% en la Unión Europea. Al mismo tiempo, la creciente demanda mundial de productos de uso final está agotando los recursos naturales a un ritmo alarmante, como es el caso de los árboles para la producción de papel (Ma et al., 2016, p.858).

En contexto nacional según datos del Instituto Ecuatoriano de Normalización en Ecuador la separación de residuos sólidos y reciclaje desde el 2015 está creciendo poco a poco. Sin embargo, los ecuatorianos reciclan sus residuos en los siguientes porcentajes: el plástico (32,98 %), seguido de los desechos orgánicos (27,01 %), papel-cartón (21,37 %) y vidrio (12,69 %) (EFE, 2018, párr.2). Por lo tanto, se evidencia un porcentaje mínimo del aprovechamiento del papel-cartón, que puede ser causado por la falta educación ambiental, poco interés de los gobiernos autónomos descentralizados y por un escaso impulso a políticas y/o proyectos de manejo sustentable del papel-cartón.

La ciudad de Ibarra se localiza en la zona norte de Ecuador en la región de los Andes, tiene una población aproximada de 163 690 habitantes, los cuales en su mayoría se dedica al comercio de alimentos, bebidas, electrodomésticos, calzado y ropa. De tal manera, esta actividad económica es la que caracteriza a esta ciudad. Por otra parte, en Ibarra se localizan industrias agroindustriales, dedicadas a la elaboración de azúcar y productos lácteos.

La basura generada en la ciudad proviene de diferentes fuentes como lo son hogares, agroindustrias, tiendas de abarrotes, centros comerciales, tiendas automotrices y mercados. Las actividades de comercio como la compra y venta de productos generan una gran cantidad de residuos sólidos como es el caso del papel y cartón puesto que este material es de gran uso en el empaquetamiento de diversos productos terminados.

Según datos del departamento de ambiente del Ilustre Municipio de Ibarra la basura que se genera en la urbe se estima que está dividida en los siguientes porcentajes: desechos orgánicos (50,34%), botellas plásticas (25,98%), papel-cartón (15,68%), otros residuos (8%) (Municipio de Ibarra, 2020, p.25).

Además, en Ibarra se recicla un estimado de 192 toneladas de papel y cartón al año, provenientes de contenedores de basura debido a que no existe un manejo adecuado de los residuos sólidos en esta ciudad (RECIPAZ, 2020, párr.1). Por lo que un buen porcentaje de este material al no ser separado de la basura orgánica termina en el relleno sanitario.

1.2. Justificación del proyecto

Actualmente las tecnologías y procesos industriales cada vez se están apegando a lineamientos medioambientales. De los cuales se destaca la Economía Circular puesto que ha ganado cada vez más atención en diversos lugares a nivel mundial como una herramienta para optimizar el uso de recursos y extender la vida útil de productos, piezas y componentes. El concepto de la economía circular plantea ir disminuyendo simultáneamente el consumo del recurso hídrico y energía, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono, residuos orgánicos, entre otros.

Cabe destacar la importancia del desarrollo de la química verde en este proyecto porque aplicaremos un conjunto de principios científicos y tecnológicos para así reducir o eliminar el uso o la generación de sustancias peligrosas que resultan de los procesos de producción de papel y cartón tradicionales. Por lo tanto, la disponibilidad de este material hace que pueda ser reciclado y aprovechado para su respectiva reutilización y comercialización, generando así un impacto positivo en el ámbito social y ambiental.

Los diferentes usos que tiene el papel-cartón son: un 43% se utiliza para envases y embalajes, un 30% para impresión y escritura, un 12% para papel de prensa y un 15% para usos higiénicos, sanitarios y otros papeles.

Además, las industrias que requieren de este material debido que sirven como insumo en su línea de producción, tanto para el empaquetamiento como transporte de su producto, podemos mencionar a la alimenticia, producción de cerámica, producción de resinas y pegamentos, cementeras y azucareras.

Por lo tanto, este proyecto permitirá la reutilización del papel – cartón reciclado. Este material proveniente de las diversas fuentes como son: mercados, centros comerciales, tiendas de abarrotes, abastos, cadenas de ropa, calzado, farmacias, electrodomésticos, entre otros.

El fin de dar aprovechamiento al papel-cartón reciclado hace que brindemos una solución al problema de la contaminación ambiental que en la actualidad es un tema de interés mundial. Además, el producto que se obtenga de este proceso permitirá ser materia prima para otras

industrias manufactureras, como son las productoras de cemento, azúcar, resinas, cerámica y para envases en la industria alimenticia.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Diagnóstico

El papel se emplea en varias actividades del ser humano, por lo cual se requirió una industrialización de este generando así una tala indiscriminada de bosques y selvas. Puesto que a nivel mundial se producen 176 millones de toneladas, siendo en un 88% provenientes de la madera. Hace que este material genere un impacto ambiental considerable (Valdiviezo, 2020, p.11). Por otro lado, se entiende por residuo toda materia prima o sobrante que no tiene valor económico para el consumidor final, no obstante, un valor comercial para la recuperación y el aumento en el ciclo de vida de las materias primas. (Arias y Seilles, 2014, p.6).

1.3.2. Propuesta de cambio

Por tal motivo se presenta una alternativa que es amigable con el ambiente como es el “Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de cartón y papel reciclado”. Aprovechando los residuos generados en la ciudad de Ibarra, dándole un valor agregado a este material para poder reutilizarlo así generando una economía circular.

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios Directos

La finalidad de este proyecto de investigación es beneficiar al Ilustre Municipio de Ibarra, porque esta idea podría ser puesta en marcha por la entidad, generando de esta manera una solución en el tratamiento del papel-cartón en el cantón Ibarra.

1.4.2. Beneficiarios Indirectos

Uno de los beneficiarios indirectos en este proyecto será las personas dedicadas a la recolección y venta de papel -cartón de la ciudad de Ibarra.

1.5. Localización del Proyecto

El presente proyecto de Integración Curricular se desarrollará en la ciudad de Ibarra, en el Municipio de Ibarra ubicadas en las calles García Moreno y Simón Bolívar.



Figura 1-1: Macro localización del proyecto

Fuente: (Google Maps, 2018).

1.6. Objetivos

1.6.1. *Objetivo General*

Diseñar un proceso para la obtención de papel a partir de cartón y papel reciclado para el Municipio Del Cantón Ibarra.

1.6.2. *Objetivos Específicos*

- Elaborar papel utilizando cartón y papel reciclado como materia prima.
- Determinar las variables de proceso que se requieren para el diseño de proceso de obtención de papel a partir de cálculos de ingeniería.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización del producto final en base a normativa.
- Determinar el presupuesto requerido para el diseño del proceso de obtención de papel.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Cartón

El cartón es un tipo de papel de alta resistencia el cual posee varias resistencias, que van desde una disposición simple de una sola hoja papel grueso hasta diversas configuraciones complejas debido al uso de múltiples capas corrugadas y no corrugadas (Secchi et al., 2016, p.2).

2.2. Papel

El papel se define como una hoja delgada el cual es elaborado con pasta celulósica. Esta pasta tiene en su composición fibras celulósicas que en general proceden de la madera (Cempre, 2021, p.209). El papel se lo obtiene a partir de procesos en donde la pasta celulósica es triturada y suspendida en agua, por lo general se le da un tratamiento de blanqueo para luego ser secada a temperatura controlada y prensada. Además se le añaden componentes químicos como el polipropileno o polietileno para brindar al papel características especiales (Calameo, 2005, p.3).

2.2.1. Fuentes principales y secundarias para obtención de Papel

Entre las distintas materias primas fibrosas de fuentes principales y alternativas que se utilizan para la fabricación de papel se detallan a continuación:

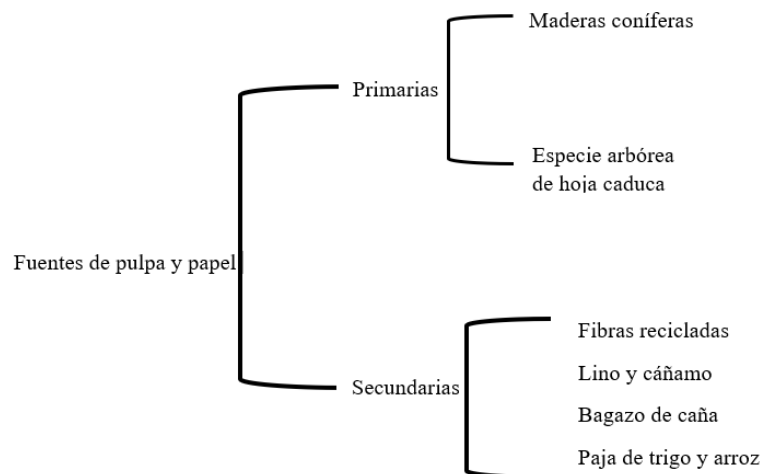


Figura 1-2: Fuentes de fibra para elaboración de papel

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

El almacén de las fibras de celulosa son el origen de la pasta y el papel, las mismas están unidas mediante puentes de hidrógeno. La fabricación de papel se la realiza con fibra virgen proveniente de madera lo cual supuso un 88% (176 millones de toneladas) de la producción mundial de pasta, aunque en los últimos años se ha optado por utilizar papel reciclado dándole un uso a estos desechos, siendo amigables con el ambiente.

2.3. Proceso de elaboración del Papel

2.3.1. Preparación de la materia prima

Los papeles y cartones reciclados contienen fibras secundarias estas fibras celulósicas son aquellas que ya pasaron, por lo menos una vez, por una máquina de papel. Los diferentes papeles que se utilizan como materia prima son: recortes de papel, cartones y cartulinas, generados durante los procesos de fabricación de estos materiales, o de su transformación en otros artículos, o también generados en imprentas; papeles, cartulinas y cartones, y sus correspondientes artículos, usados o no, que hayan sido descartados (Ramirez, 2010, p.212).

2.3.2. Pulpeado y triturado

El propósito del pulper es reducir el tamaño de las fibras de papel del desperdicio y mantener la materia prima libre de contaminantes, además proporciona la remoción de las partículas de tinta de la superficie de la fibra (Cárdenas y Mosquera, 2013, p.30).

2.3.3. Tamizado y limpieza Centrifuga

En esta etapa del proceso la pasta pasa a la remoción de los diferentes tipos de contaminantes que pueden estar presentes. Estos contaminantes pueden ser retirados utilizando diferentes mecanismos de separación los cuales son el tamizado y el centrifugado (Brito, 2017, pp. 34-35).

En general, el sistema utilizado es una combinación de los mecanismos mencionados anteriormente, por lo que todos los sistemas tienen una serie de separación de suciedad gruesa después de la trituración, seguida de un paso de tamizado fino y finalmente una limpieza centrífuga. Los principales parámetros que caracterizan el proceso de separación de este tipo de dispositivos son la eficiencia de eliminación de contaminantes y la tasa de eliminación de sólidos. (León y Fuentes, 2012, p.42).

2.3.4. Destintado

Este proceso es el más importante en la eliminación de tintas, puesto que aquí es en donde los pigmentos son removidos de la pulpa haciendo que se adhiera a las burbujas de aire. Esta parte es fundamental ya que presenta la realización de dos tareas: la remoción decolorantes, gomas y partículas hidrofóbicas, así minimizando la pérdida de fibra y energía (León y Fuentes, 2012, p.44).

2.3.5. Formación de la hoja

A escala industrial se utiliza un equipo especializado para la formación de papel que es una caja de formación en donde la pulpa de baja consistencia se transporta por ductos y se distribuye a presión en la malla de formación. Por otro lado, el método tradicional se basa en la manipulación de una formadora de papel que consta de un marco de madera con una malla templada, la cual se hunde en un tanque que contenga la pulpa diluida en abundante agua y se retira de forma horizontal mientras se mueve de lado a lado para que de esta manera se distribuyan las fibras de manera uniforme (Valdiviezo, 2020, pp.14-15).

2.3.6. Prensado y secado

Las hojas obtenidas en la etapa de formación son llevadas a un prensado húmedo, en la industria del papel se utiliza una máquina denominada tornillo hidráulico, el resultado de utilizar este artefacto es un producto fácil de manipular y retirar sin el riesgo de que la hoja sufra daño alguno. Luego, las hojas prensadas pasan a un rodillo de secado. De manera tradicional se utiliza una prensa hidráulica, con lo cual se logra retirar la mayor cantidad de agua contenida en la lámina de papel para finalmente llevar a un secado controlado en una estufa (Valdiviezo, 2020, p.15).

2.4. Evaluación de la calidad del papel

2.4.1. Gramaje

Se llama gramaje al peso en gramos de un metro cuadrado de papel, también se acostumbra a llamarle peso base (Griful y Canela, 2002, p.166).

2.4.2. Resistencia a la ruptura por tracción.

Se define como la máxima fuerza de tensión por unidad de ancho que es capaz de soportar tanto el papel como el cartón antes de que este se rompa, bajo condiciones especificadas en el método de ensayo (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p.1).

2.4.3. Espesor o calibre

Se interpreta como la distancia entre la superficie de papel o cartón y la otra bajo especificaciones de una carga estática aplicada utilizando los pasos del método de ensayo (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p.1).

2.5. Análisis Financiero

2.5.1. Costos de producción

Es la suma total de los gastos que implican en materia prima, costos indirectos de fabricación y mano de obra (Garrido et al., 2018, p.11).

2.5.2. Mano de obra

Se define como el conjunto de pagos que se realizan a los obreros por el trabajo efectuado en una actividad productiva, estos rubros se basan a lo establecido en el Código de Trabajo (Garrido et al., 2018, p.12).

2.5.3. Materia prima directa

Son todos los materiales que son identificados plenamente con un artículo que se está fabricando y se denomina directa porque son fácilmente medibles y cuantificables en peso, volumen y cantidad (Garrido et al., 2018, p.11).

2.5.4. Costos indirectos de fabricación

Representan a los productos naturales, elaborados complementarios o semielaborados, servicios personales y públicos los cuales son indispensables a la terminación adecuada del producto final (Garrido et al., 2018, p.12).

2.6. Tipo de estudio

El presente proyecto aplica como base la investigación exploratoria y experimental esto con el objetivo de obtener una adecuada metodología en el desarrollo de la obtención de papel, manejando de manera adecuada conceptos, variables y métodos.

- **Exploratoria:** La elaboración de papel a partir del cartón y papel reciclado es un tema que no ha sido suficientemente abordado o estudiado permitiendo ampliar el estudio de estos residuos para aprovechar su reutilización generando así un ciclo de proceso y economía circular. Por ello, el propósito es averiguar métodos y procedimientos de una situación específica hasta conseguir un producto de calidad.

- **Experimental:** Para la obtención de papel se requiere controlar las variables en cada parte del proceso como secado, molienda, despulpado, destintado, entre otros hasta conseguir un punto de equilibrio en la eficiencia del proceso. Se requiere un experimento empleando una muestra representativa, seguido del diseño experimental y aplicando una metodología cuantitativa para analizar y controlar los datos obtenidos (Valdiviezo, 2020, p.16).

2.6.1. Métodos

Cuando se trabaja con proyectos de diseño se requiere la utilización de secciones teóricas y prácticas donde se permita la manipulación de variables hasta conseguir los objetivos que se han propuesto. Los métodos por utilizar son los siguientes:

- **Método Deductivo:** Mediante el empleo de conceptos en los campos de operaciones unitarias, análisis instrumental y química analítica permiten la elaboración del producto terminado. En cuanto al diseño del proceso y de equipos se emplean conocimientos de Ingeniería de Plantas, Balances de Masa y Energía.

- **Método Experimental:** La investigación se desarrolla con un enfoque experimental para manipular las variables de estudio como tamaño de partícula en la etapa de tamizado, la concentración de los reactivos químicos usados en el destintado de la pulpa, temperatura de secado, tiempo de secado, permitiendo observar los efectos de las condiciones en la variable de respuesta.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Técnicas

El proceso metodológico está basado en los lineamientos de las normativas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y TAPPI por sus siglas en inglés se refiera a la (Asociación Técnica de la Industria del Papel y la Pulpa). Estas se consideraron y aplicaron en la fase de muestreo y caracterización de la materia prima, además, en la evaluación de calidad del producto terminado que fueron las láminas de papel y cartón.

Tabla 1-3: Molienda

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>La operación de molienda tiene como finalidad la reducción de tamaño de una sustancia sólida hasta convertirla en un tamaño deseado de partícula. Este proceso se da mediante trituración o machaqueo, con lo cual no alteramos su naturaleza. La maquinaria especializada para este fin son los molinos con diferentes especificaciones de acuerdo con el uso.</p>	<p>NTE INEN-ISO 3588</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fue pesada la materia prima y troceada • La materia prima se alimentó en la tolva de carga del molino y se procede a la molienda por 45 minutos. • El producto molido fue pesado. • El material molido fue colocado en 7 tamices en cascada desde la malla más gruesa hasta la más fina. • El material molido se colocó a la bandeja superior del tamiz. • El material fue tamizado por 10 minutos • El residuo de cada bandeja fue pesado, evitando las pérdidas del producto. 	$P = P_{brutomolido} - P_{finos}$ <p>Donde:</p> <p>$P_{brutomolido}$ = Peso bruto molido (g)</p> <p>P_{finos} = Peso finos (g)</p>

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014, pp. 4-6)

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 2-3: Determinación de consistencia

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>“La consistencia es el peso en gramos de fibra seca en 100 gramos de pasta rica en celulosa, también se define como el peso de sólidos en 100 gramos de solución”.</p>	<p>TAPPI T 240 OM-02</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El papel filtro fue pesado y colocado dentro del embudo Büchner y humedecido con agua. • La muestra seleccionada se pesó con el vaso de precipitación tarado. • La muestra fue filtrada en el sistema al vacío. • El papel filtro fue secado con la muestra en una estufa a temperatura de 135+ 5 °C por un periodo de 15 minutos para eliminar el agua sobrante. • El papel se enfrió por 5 minutos en el desecador. • El papel filtro se pesó con la muestra. 	<p>% <i>Consistencia</i></p> $= \frac{W_f - W_p}{W_m} * 100$ <p>Donde:</p> <p>W_f = Peso papel filtro más la muestra (g)</p> <p>W_p = Peso del papel filtro (g)</p> <p>W_m = Peso inicial de la muestra (g)</p>

Fuente: (Valdiviezo, 2020, p.26).

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 3-3: Determinación de cenizas

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>Se define como la cantidad de materia inorgánica residual que se obtiene después de la incineración de una materia orgánica.</p>	<p>TAPPI T 211 OM-93</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El crisol tarado fue pesado • Se colocaron en el crisol 2,0 g de papel o 2,0 (g) de cartón, partidos en trozos pequeños que puedan ser insertados en el crisol y se obtuvo la masa. • El crisol con la muestra fue ingresado en la mufla, y se mantuvo a una temperatura de 525°C durante 1 hora. • Se retiró con cuidado el crisol de la mufla y se lo llevó al desecador por un tiempo estimado de 30 minutos. 	$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_f - W_c}{W_m} * 100$ <p>Donde:</p> <p>W_f = Peso muestra después de ser incinerada, (g)</p> <p>W_p = Peso crisol vacío y tarado, (g)</p> <p>W_m = Peso muestra inicial. (g)</p>

Fuente: (Quintáns, 2009, p.77).

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 4-3: Determinación de humedad

FUNDAMENTO	NORMA	TÉCNICA	CÁLCULOS
<p>Son los métodos para determinar el contenido de humedad en papel, cartón y productos afines a estos. A excepción de aquellos que tengan cantidades representativas, diferentes al agua, que sean volátiles a 105+ 3°C.</p>	<p>NTE INEN-1397</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La cápsula tarada fue pesada • Se colocaron en la cápsula 1,5 g de papel o 1,5 (g) de cartón, partidos en trozos pequeños que puedan ser insertados en la cápsula y se obtuvo la masa. • La cápsula con la muestra fue ingresada en la estufa de secado, y se mantuvo a una temperatura de 105°C, hasta peso constante. • Se retiró con cuidado la cápsula y se lo llevó al desecador por un tiempo estimado de 30 minutos. 	$\% \text{ Humedad} = \frac{W_f - W_c}{W_m} * 100$ <p>Donde:</p> <p>W_f = Peso muestra después de ser secada, (g)</p> <p>W_p = Peso cápsula vacía y tarada, (g)</p> <p>W_m = Peso muestra inicial. (g)</p>

Fuente:(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986, pp.1-5).

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2. Procedimiento a nivel de laboratorio

3.2.1. Identificación de variables de proceso

3.2.1.1. Recepción y selección de la materia prima

Para la fabricación de papel blanco se recolectó 0,227 Kg de papel bond, 0,566 Kg de cartulina, 0,144 Kg de papel cuaderno y 0,080 Kg de revistas, estos residuos generados en las oficinas del Gobierno Autónomo Descentralizado San Miguel de Ibarra. Por otra parte, para la obtención de papel cartón se obtuvo 0,250 Kg de cartón corrugado, este residuo generado en las instalaciones de panadería “PILCO”. La materia prima ingresó a la selección para separar los papeles que presentaban grapas, cinta adhesiva, restos de materia orgánica u otros elementos no deseados.

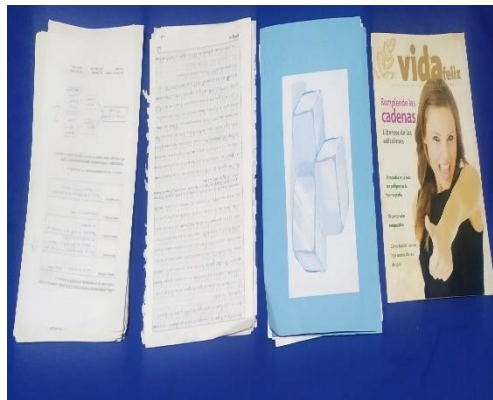


Figura 1-3: Materia prima para obtención de papel blanco.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.



Figura 2-3: Materia prima para obtención de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 5-3: Datos para el cálculo del porcentaje de material

Tipo de papel	Masa muestra global Si (Kg)	Masa desechos contenidos en el papel Sm (Kg)
Blanco	0,477	0,04
Cartón	0,250	0,03

Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Para la determinación del porcentaje de defectuosos se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% Def = \frac{Sm}{Si} * 100$$

Donde:

% Def: Porcentaje de material defectuoso (%)

Sm: Masa de desechos generados en la recepción (Kg)

Si: Masa de muestra global (Kg)

Cálculo de porcentaje de defectuosos en papel blanco.

$$\%Def = \frac{0,04 Kg}{0,477 Kg} * 100$$

$$\% Def = 8,37$$

Cálculo de porcentaje de defectuosos en cartón.

$$\% Def = \frac{0,025 Kg}{0,250 kg} * 100$$

$$\% Def = 10$$

Estos cálculos se aplican con posterioridad en los balances de materia para evaluar el proceso en su globalidad.

3.2.1.2. Troceado de la materia prima

El papel y cartón reciclado entraron al proceso de troceado manual, reduciendo en pequeños trozos de aproximadamente 1,5 cm de ancho por 2 cm de largo con el objetivo de permitir una mejor molienda del material.



Figura 3-3: Troceado de materia prima para obtención de papel blanco.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.



Figura 4-3: Troceado de materia prima para la obtención de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.3. Molienda y tamizado

Para la molienda se utiliza un molino de martillos en el cual los trozos de papel y cartón reciclado ingresan a la tolva de alimentación, el cartón corrugado es pulverizado en un tiempo de 180 segundos por cada 0,010 Kg de material ingresado a la tolva además el papel es molido en un tiempo de 138 segundos por cada 0,020 Kg de material ingresado al molino. Finalmente, en bolsas plásticas se recoge el material molido.

Por consiguiente procedemos a la operación de tamizado, el cual se define como el proceso de encontrar una granulometría óptima para obtener un tamaño de partícula ideal para la eficiencia del proceso y la calidad de la pulpa y el papel terminado (Bajpai, 2015, p.15).



Figura 5-3: Molienda de materia prima

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 6-3: Datos para el cálculo del rendimiento de la operación de tamizado

Luz de malla (μm)	Peso $_1$ (g)	Peso $_2$ (g)
300	297,14	350,43
150	276,23	284,62
106	285,12	288,13
53	271,16	279,37

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 7-3: Datos experimentales para el tamizado del papel

Masa inicial en bruto (Kg)	Masa en bruto molido (Kg)
0,1087	0,0657

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 8-3: Datos para el cálculo del rendimiento de la operación de tamizado

Luz de malla (<i>um</i>)	Peso 1 (<i>g</i>)	Peso 2 (<i>g</i>)
300	297,14	337,72
150	276,23	282,78
106	285,12	286,45
53	271,16	278,27

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 9-3: Datos experimentales para el tamizado de cartón

Masa inicial bruto (<i>Kg</i>)	Masa en bruto molido (<i>Kg</i>)
0,1059	0,0809

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.4. Destintado de pulpa

En el proceso de destintado fue pesado una masa de papel pulverizado con un valor igual a 0,0657 Kg y 0,0809 Kg de cartón molido. A continuación, se agregó en una celda de vidrio la solución alcalina la cual consistió en Hidróxido de Sodio (NaOH) con concentración molar igual a 1,4 M Silicato de Sodio (Na₂SiO₃) con concentración de 1,2 M y 5 g de agentes tensoactivos no iónicos (ácido oleico etoxilado, óxido de etileno, lauril dietanolamida polioxietilenada). Para alcanzar estas concentraciones se emplearon 500 mL de agua destilada. El destintado se llevó a cabo a 25°C con agitación de 200 rpm, en un tiempo de 20 minutos y un flujo de aire igual a 10 L/min, el flujo de aire permite la formación de burbujas las cuales ayudan en la remoción de las tintas de la pulpa haciendo que se adhiera a las mismas.



Figura 6-3: Destintado de papel reciclado

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 10-3: Datos para el cálculo de rendimiento del proceso de destintado

Tipo de papel	Agua (Kg)	NaOH (mol/L)	Na ₂ SiO ₃ (mol/L)	Tensoactivo (Kg)	Agitación (rpm)	Flujo de aire (L/s)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
Bond	0,5	1,4	1,2	0,005	200	10	0,33	25
Kraft	0,5	1,4	1,2	0,005	200	10	0,33	25

Fuente: Laboratorio de Productos Naturales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.5. Filtración de solución alcalina

La pulpa de papel y cartón fueron es separados de la solución salina por medio de un filtro (tela lienzo), recolectando el líquido en un vaso de precipitación para su respectivo análisis y tratamiento del agua residual. La pulpa es retenida en el filtro y se coloca en una bandeja de acero inoxidable para continuar con la siguiente etapa del proceso.



Figura 7-3: Filtrado de pulpa

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.



Figura 8-3: Solución alcalina del filtrado

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.6. Lavado de la pulpa

El lavado de la pulpa de papel y cartón se lo realizó con agua con el objetivo de obtener una pulpa libre de solución alcalina y tintas, este proceso culmina cuando la coloración del agua se torne lo más clara posible.



Figura 9-3: Pulpa lavada

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 11-3: Datos de proceso de lavado de pulpa filtrada

Agua de lavado (L)	Tiempo de lavado (s)
4,5	1800

Fuente: Laboratorio de Productos Naturales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.7. Elaboración de la mezcla

Para la obtención de la lámina de papel fue realizada con una mezcla de 0,045 Kg de pulpa blanqueada y pulpa para cartón con 0,2 L de agua, dicho procedimiento se ejecutó en función a la normativa Tappi 240 om-93., la cual establece un 0,321% de consistencia.

Para la mezcla de la pulpa de papel se empleó un volumen de 1,5 L. Por otra parte, para la mezcla con la cual se elaboró el papel cartón el volumen que se utilizó fue de 1 L. Finalmente, se obtuvieron 4 láminas de papel y cartón, de dimensiones 17 cm de largo por 12 cm de ancho.



Figura 10-3: Elaboración de mezcla

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 12-3: Datos para la preparación de la mezcla

Agua (L)	Pulpa blanqueada (Kg)	Pulpa de cartón (Kg)
0,200	0,0484	0,0503

Fuente: Laboratorio de Productos Naturales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 13-3: Datos para la determinación de consistencia de pulpa.

Tipo de Papel	Muestra de solución de pulpa (mL) Pm	Masa de papel filtro (g) F	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Masa de papel + pulpa seca (g) P
Blanco	100	1,027	105	0,25	1,501
Cartón	100	1,024	105	0,25	1,505

Fuente: Laboratorio de Productos Naturales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Calculamos la consistencia de la solución de la pulpa para la formación de las láminas de papel según los parámetros de la norma Tappi 240 om-93

$$\% C = \frac{(P - F)}{Pm} * 100$$

Donde:

$\% C =$ Porcentaje de consistencia

$(\%) P =$ Peso seco de fibra + papel filtro seco (g)

$F =$ Peso seco del filtro (g)

$Pm =$ Peso neto de la muestra (mL)

Para el papel bond sabiendo que 100 mL \approx 100 g

$$\% C = \frac{(1,501 \text{ g} - 1,027 \text{ g})}{100 \text{ g}} * 100$$
$$\% C = 0,474$$

Para el papel kraft sabiendo que 100 mL \approx 100 g

$$\% C = \frac{(1,505 \text{ g} - 1,024 \text{ g})}{100 \text{ g}} * 100$$
$$\% C = 0,481$$

3.2.1.8. Formación de la hoja

En una bandeja de 5cm de profundidad introducimos bastidores (moldes de madera con malla de tela lienzo) de medidas 17 cm de largo por 12cm de ancho estos se sumergieron en sus $\frac{3}{4}$ partes, procedimos a dosificar la disolución de pulpa tanto de papel blanqueado como de cartón en la parte superior del bastidor realizando movimientos paralelos albergando en la malla una película de pasta de fibra destintada. Esta película se coloca en un lienzo hasta que esta quede incorporada en la misma, eliminamos el exceso de agua de la película utilizando una esponja absorbente.

Tabla 14-3: Tiempos de formación de hoja

Tiempo de formación de hoja / unidad (s)	Tiempo promedio de formación de hoja / unidad (s)
600	537,5
570	
500	
480	
460	501,3
550	
490	
505	

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.



Figura 11-3: Formación de hoja

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Tabla 14- 3: Datos de proceso de formación de hoja

Tipo de papel	Dosificación de solución de pulpa (L)	Consistencia (%)	Viscosidad (Pa.s)	Tiempo de formación de hoja (s)
Bond	1,3	0,474	0,17	537,5
Kraft	0,8	0,481	0,19	501,3

Fuente: Laboratorio de Productos Naturales

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.9. Prensado de hoja

Para eliminar un 80% de agua retenida en la fibra de papel, procedemos a prensar las láminas formadas, en una prensa hidráulica. Las condiciones de operación son: las bancadas (bases de la

prensa de forma rectangular) utilizadas son de dimensiones 40 cm de largo por 24 cm de ancho, la presión ejercida por la prensa hidráulica es de 000259 Kpa con un tiempo de duración del proceso igual a 180 segundos.



Figura 12-3: Prensado de hoja

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.1.10. *Secado de láminas de papel*

Para el secado colocamos las láminas de papel blanqueado y kraft prensadas en bandejas de dimensiones de 40 cm de largo y 30 cm de ancho, las mismas ingresan a la estufa de secado a una temperatura de 35°C y un tiempo de 16 horas. Finalmente se retira las láminas de papel de las bandejas obteniendo así el producto final.



Figura 13-3: Lámina de papel y cartón obtenidas al final del proceso.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.2. Diagrama de proceso para elaboración de papel

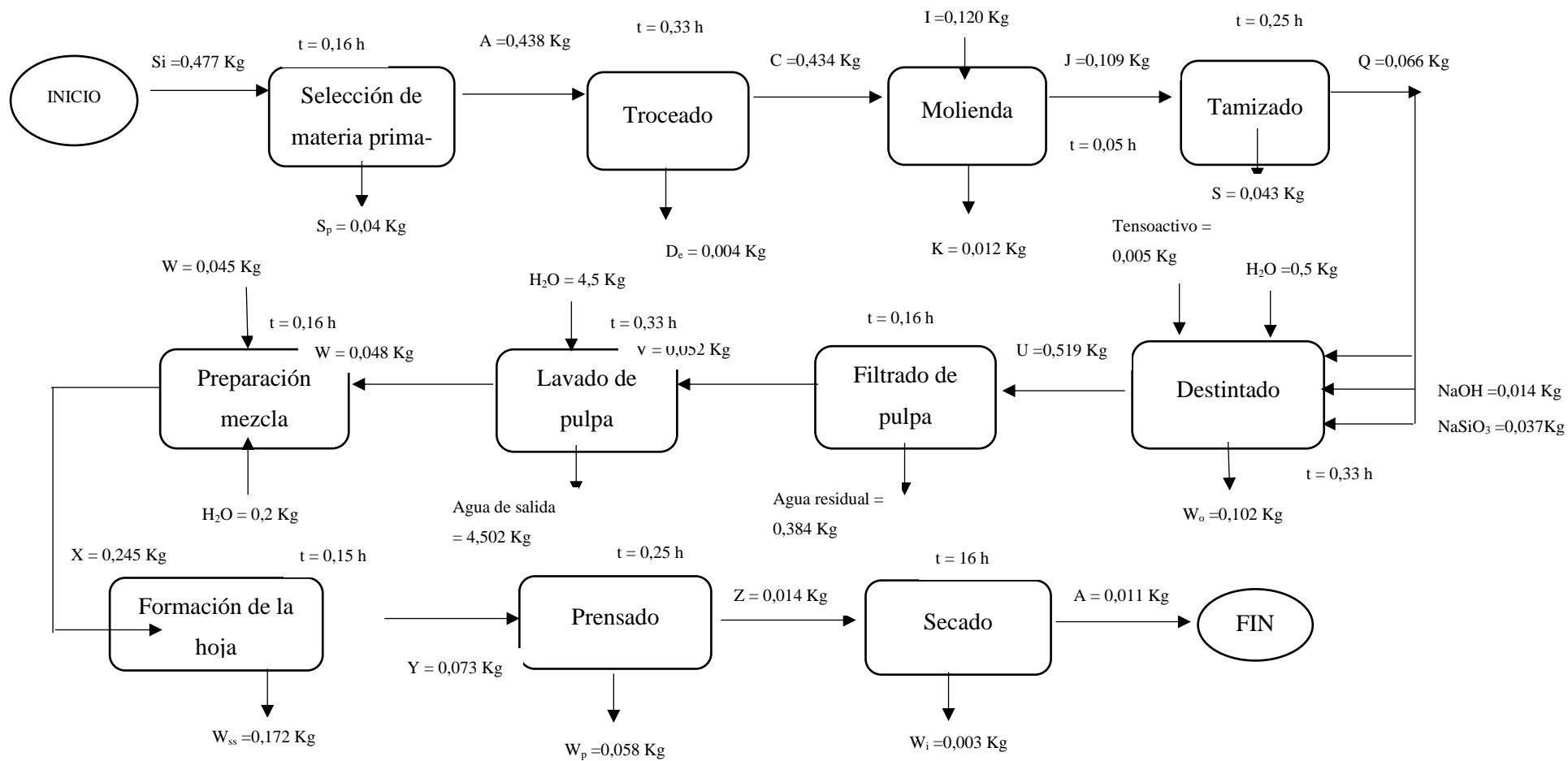


Gráfico 1-3: Diagrama de proceso para elaboración de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.2.1. Ecuaciones balance de masa

- *Generales*

Balance global de masa

$$A = E - S + G - C$$

Donde:

A = Acumulación

E = entrada

S = Salida

G = Generación

C = Consumo

Parciales

Este proceso se lleva en estado estacionario por tanto nuestra ecuación general de balance de masa es:

$$\cancel{A} = E - S + \cancel{G} - \cancel{C}$$
$$\sum E = \sum S$$

Donde:

$\sum E$ = Sumatoria de flujos de entrada

$\sum S$ = Sumatoria de los flujos de salida

3.2.2.2. Balances de masa por cada etapa del proceso

- **Selección de materia prima**

Balance general

$$\sum E = \sum S$$

$$A = C + S_p$$

Balance parcial

$$S_p = S_i - A$$

- **Troceado**

Balance general

$$A = C + D_e$$

Balance parcial

$$D_e = A - C$$

- **Molienda**

Balance general

$$I = J + K$$

Balance parcial

$$K = I - J$$

- **Tamizado**

Balance general

$$J = Q + S$$

Balance parcial

$$S = J - Q$$

- **Destintado**

Balance general

$$Q + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Tensoactivo} + \text{H}_2\text{O} = W_o + U$$

Balance parcial

$$W_o = Q + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Tensoactivo} + \text{H}_2\text{O} - U$$

- **Filtrado de pulpa**

Balance general

$$U = V + \text{Agua residual}$$

Balance parcial

$$\text{Agua residual} = U - V$$

- **Lavado de pulpa**

Balance general

$$V + \text{H}_2\text{O} = W + \text{Agua salida}$$

Balance parcial

$$\text{Agua de salida} = V + \text{H}_2\text{O} - W$$

- **Preparación de mezcla**

Balance general

$$W + \text{H}_2\text{O} = X$$

Balance parcial

$$X = W + \text{H}_2\text{O}$$

- **Formación de hoja**

Balance general

$$X = Y + W_{ss}$$

Balance parcial

$$W_{ss} = X - Y$$

- **Prensado**

Balance general

$$Y = Z + W_p$$

Balance parcial

$$W_p = Y - Z$$

- **Secado**

Balance general

$$Z = A + W_s$$

Balance parcial

$$W_s = Z - A$$

3.2.3. Diagrama de proceso para elaboración de cartón

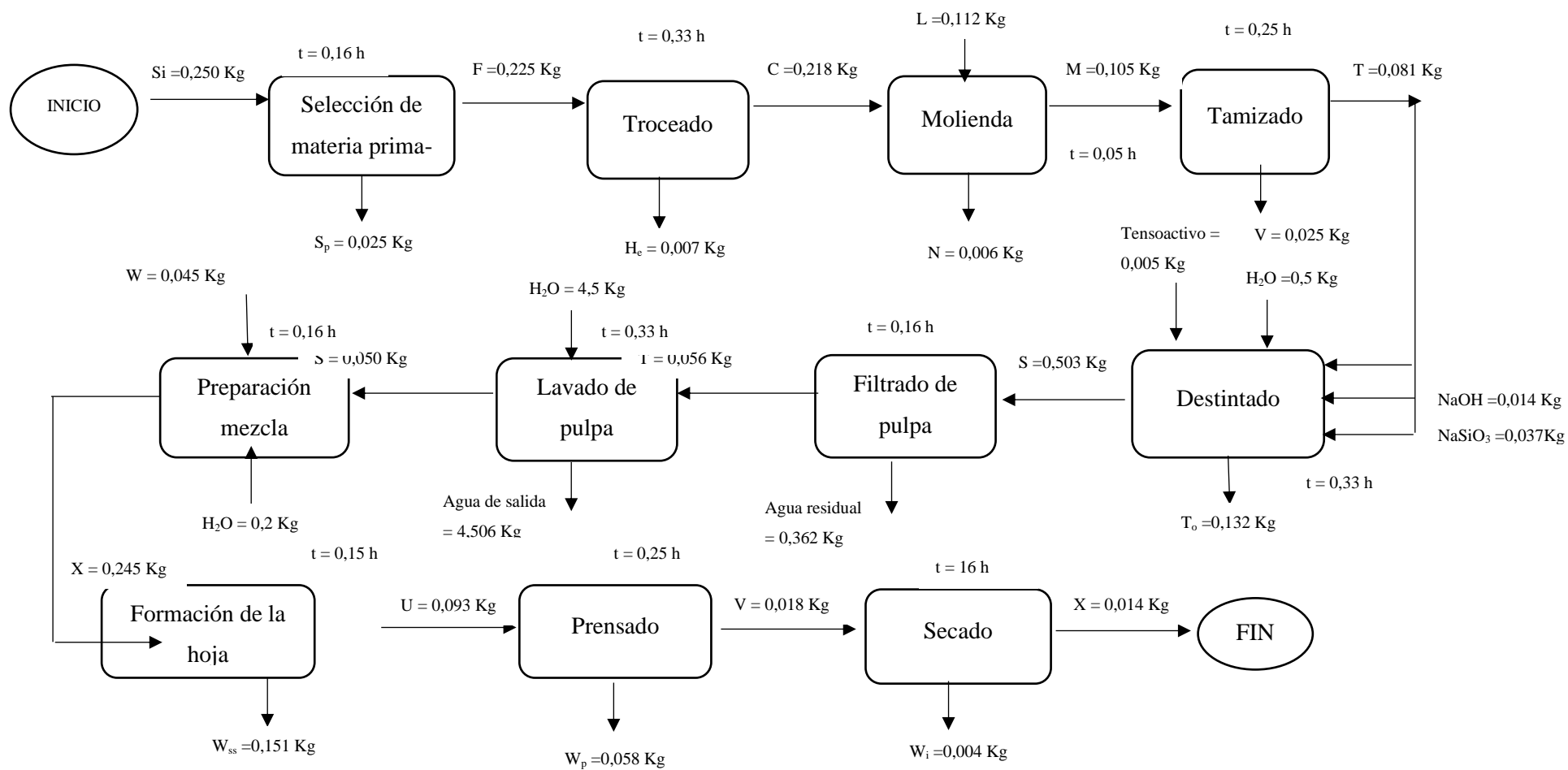


Gráfico 2-3: Diagrama de proceso para elaboración de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.2.3.1. Ecuaciones de balance de masa por cada etapa del proceso

- **Selección de materia prima**

Balance general

$$S_i = F + S_p$$

Balance parcial

$$S_p = S_i - F$$

- **Troceado**

Balance general

$$F = C + H_e$$

Balance parcial

$$H_e = F - C$$

- **Molienda**

Balance general

$$L = M + N$$

Balance parcial

$$N = L - M$$

- **Tamizado**

Balance general

$$M = T + V$$

Balance parcial

$$V = M - T$$

- **Destintado**

Balance general

$$T + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Tensoactivo} + \text{H}_2\text{O} = T_0 + S$$

Balance parcial

$$T_0 = T + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Tensoactivo} + \text{H}_2\text{O} - S$$

- **Filtrado de pulpa**

Balance general

$$S = T + \text{Agua residual}$$

Balance parcial

$$\text{Agua residual} = S - T$$

- **Lavado de pulpa**

Balance general

$$T = S + \text{Agua de salida}$$

Balance parcial

$$\text{Agua de salida} = T - S$$

- **Preparación mezcla**

Balance general

$$W + H_2O = X$$

Balance parcial

$$X = W + H_2O$$

- **Formación de hoja**

Balance general

$$X = U + W_{ss}$$

Balance parcial

$$W_{ss} = X - U$$

- **Prensado**

Balance general

$$U = V + W_p$$

Balance parcial

$$W_p = U - V$$

- **Secado**

Balance general

$$V = X + W_s$$

Balance parcial

$$W_s = V - X$$

3.2.4. Diseño de ingeniería para la obtención de papel

3.2.4.1. Balance de masa y energía

► Balance de masa

- Inspección y selección de la materia prima-papel

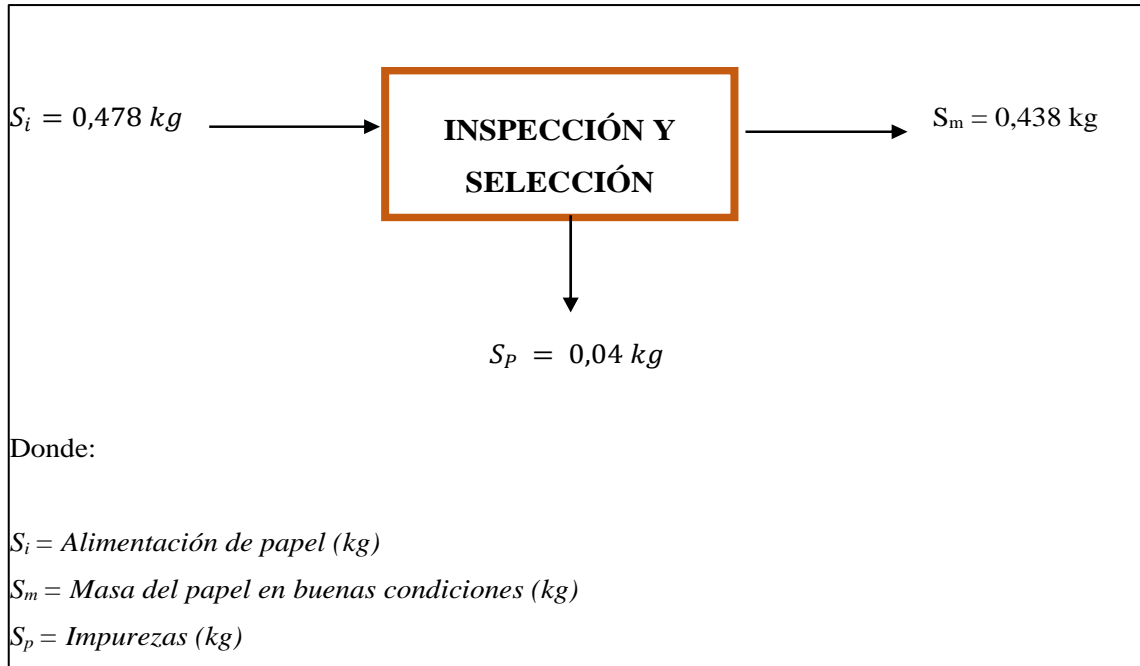


Gráfico 3-3: Balance de masa en la inspección y selección de la materia prima-papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{S_m}{S_i} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,438 \text{ kg}}{0,478 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 91,63 \%$$

- Inspección y selección de la materia prima-cartón

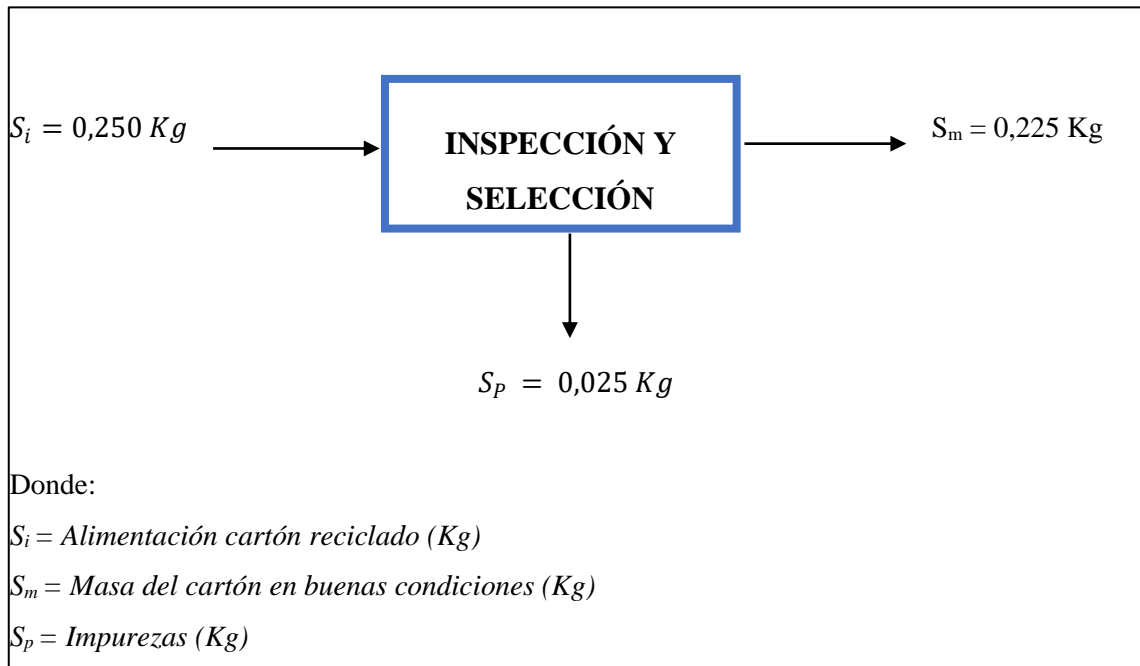


Gráfico 4-3: Balance de masa en la inspección y selección de la materia prima-papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{S_m}{S_i} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,225 \text{ Kg}}{0,250 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 90 \%$$

- Troceado de papel

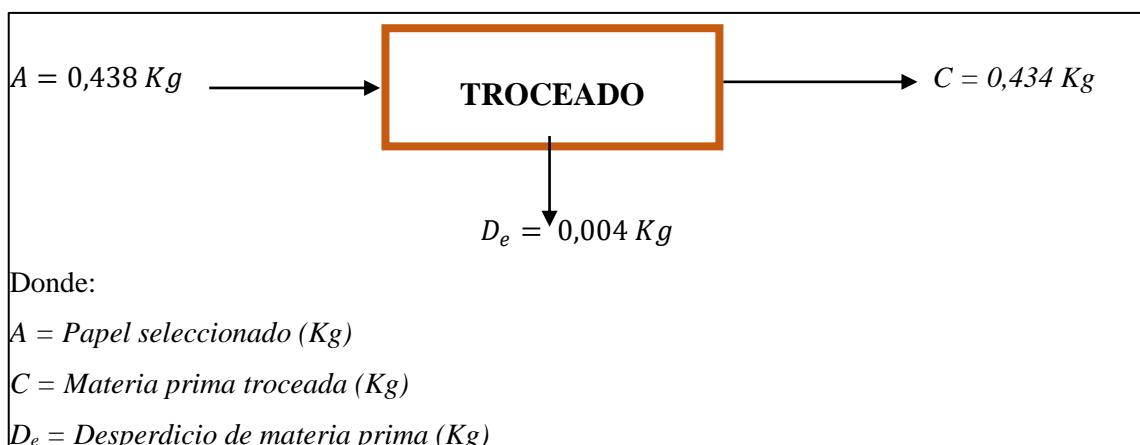


Gráfico 5-3: Balance de masa en el troceado del papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{C}{A} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,434 \text{ Kg}}{0,438 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 99,15 \%$$

- Troceado cartón

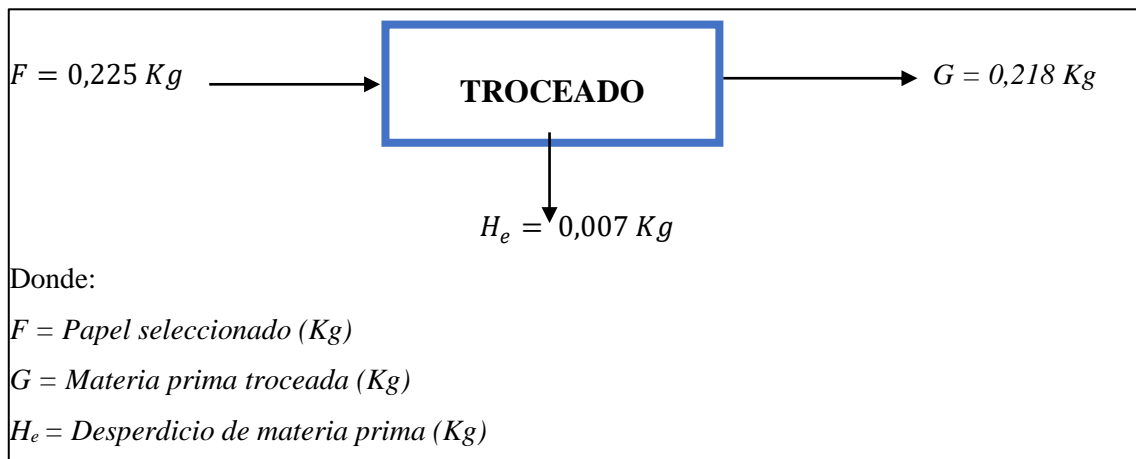


Gráfico 6-3: Balance de masa en el troceado del cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{G}{F} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,218 \text{ Kg}}{0,225 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 96,88 \%$$

- Molienda de papel

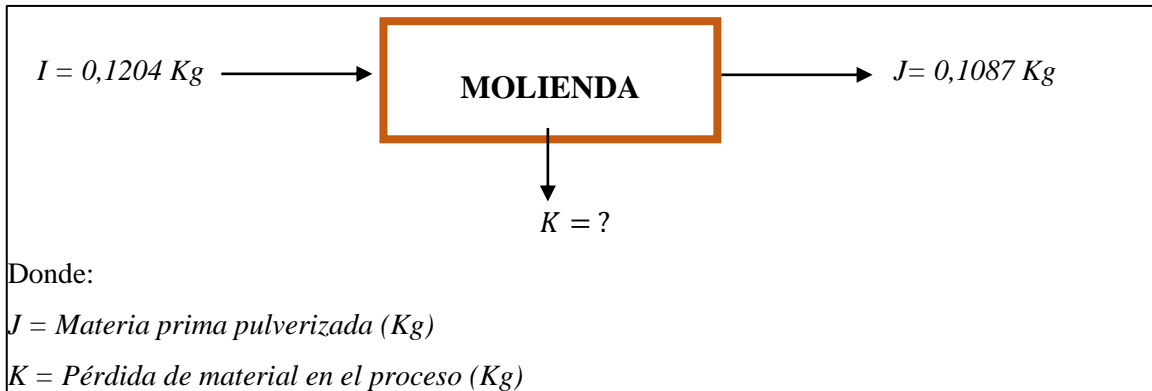


Gráfico 7-3: Balance de masa en la molienda de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

El balance de materia será:

$$I = J + K$$

$$0,1204 = 0,1087 + K$$

$$K = 0,0117 \text{ Kg}$$

Calculamos el rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{J}{I} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,1087}{0,1204} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 90,28 \%$$

- Molienda de cartón

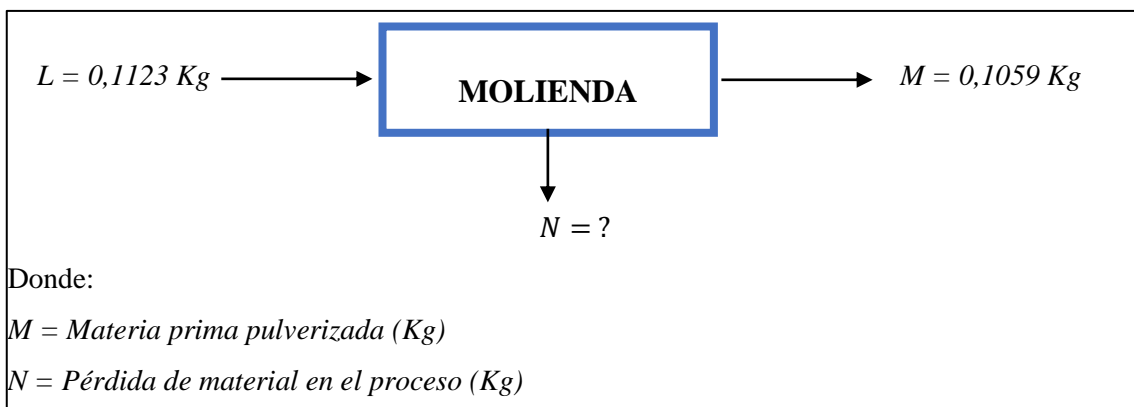


Gráfico 8-3: Balance de masa en la molienda de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

El balance de materia será:

$$L = M + N$$
$$0,1123 = 0,1059 + N$$
$$N = 0,0064 \text{ Kg}$$

Calculamos el rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$
$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{M}{L} * 100$$
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,1059}{0,1123} * 100$$
$$\text{Rendimiento} = 94,30 \%$$

- Tamizado de papel

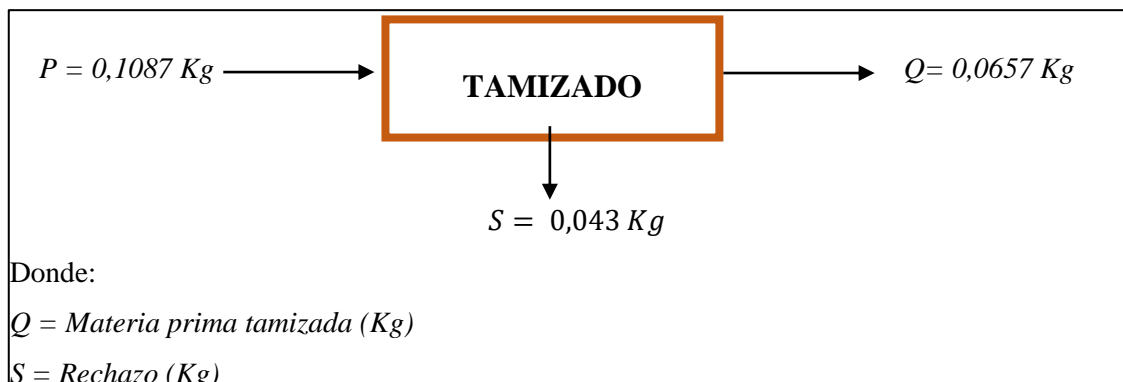


Gráfico 9-3: Balance de masa en el tamizado de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$
$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{Q}{P} * 100$$
$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0657}{0,1087} * 100$$
$$\text{Rendimiento} = 60,44 \%$$

- Tamizado de cartón

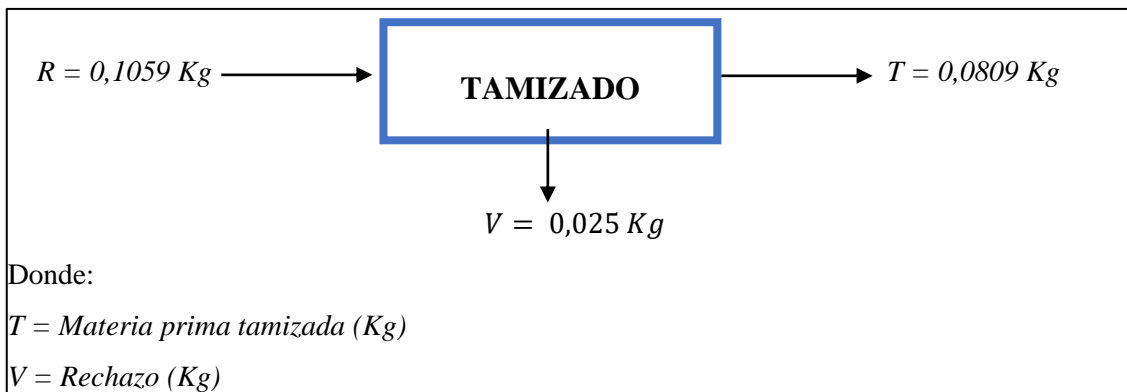


Gráfico 10-3: Balance de masa en el tamizado de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{T}{R} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0809}{0,1059} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 76,39 \%$$

- Destintado de papel

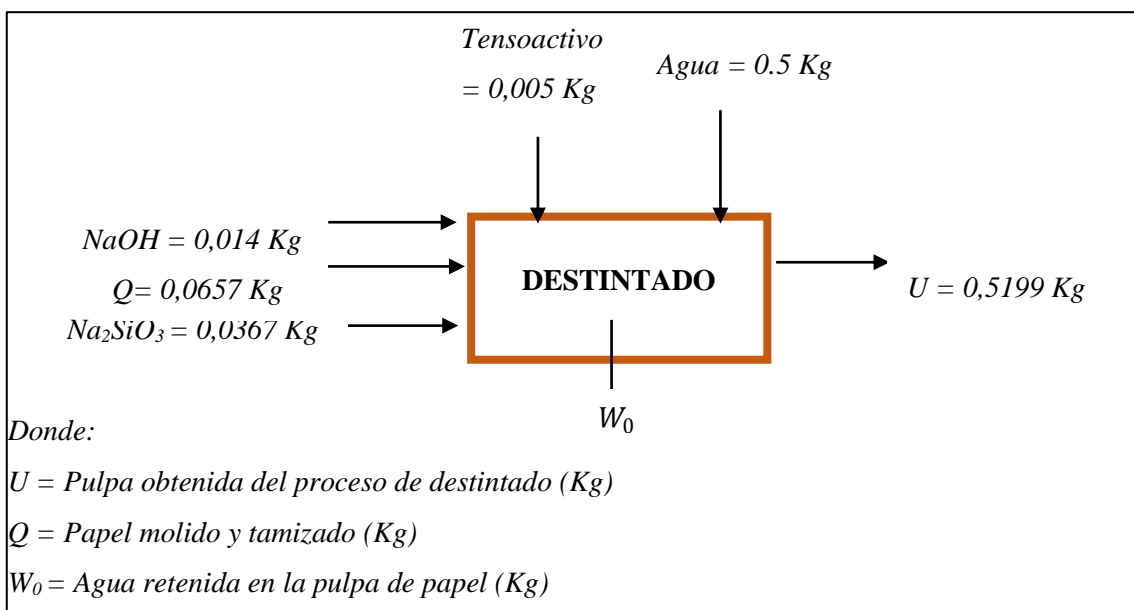


Gráfico 11-3: Balance de masa en el destintado de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Efectuamos el balance de masa en el siguiente proceso:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$\text{NaOH} + Q + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Tensoactivo} + \text{agua} = U + W_0$$

$$0,014 \text{ Kg} + 0,0657 \text{ Kg} + 0,0367 \text{ Kg} + 0,005 \text{ Kg} + 0,5 \text{ Kg} = 0,5207 \text{ Kg} + W_0$$

$$W_0 = 0,1015 \text{ Kg}$$

El agua retenida en la pulpa de papel es de 0,1015 Kg. Calculamos el rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{U}{Q} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,5199}{0,6214} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 83,66 \%$$

El proceso de destintado se efectúa en un tiempo de 20 minutos con una temperatura ambiental en un vaso de precipitación con agitación e inyección de un flujo volumétrico de aire igual a 10 L/min.

- Destintado de cartón

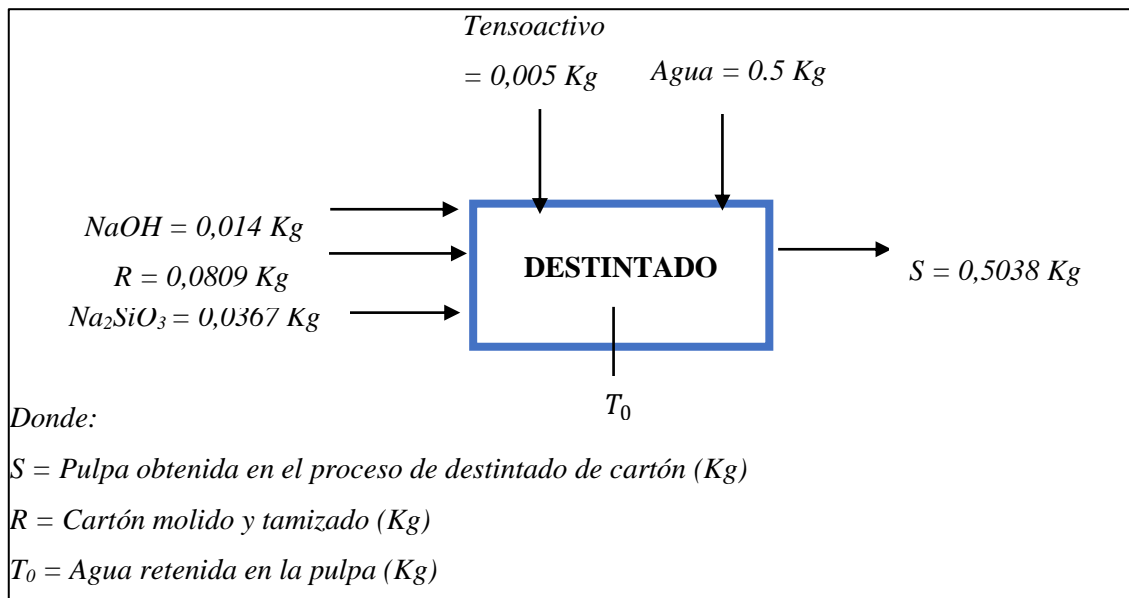


Gráfico 12-3: Balance de masa en el destintado de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Efectuamos el balance de masa en el proceso:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$NaOH + R + Na_2SiO_3 + Tensoactivo + agua = S + T_0$$

$$0,014 Kg + 0,0809 Kg + 0,0367 Kg + 0,005 Kg + 0,5 Kg = 0,5038 Kg + T_0$$

$$T_0 = 0,1328 Kg$$

El agua retenida en la pulpa de cartón es de 0,1328 Kg. Calculamos el rendimiento del proceso:

$$Rendimiento (\%) = \frac{Salida}{Entrada} * 100$$

$$Rendimiento (\%) = \frac{S}{R} * 100$$

$$Rendimiento (\%) = \frac{0,5038}{0,6366} * 100$$

$$Rendimiento = 79,13 \%$$

El proceso de destintado se efectúa en un tiempo de 20 minutos con una temperatura ambiental en un vaso de precipitación con agitación e inyección de un flujo volumétrico de aire igual a 10 L/min.

- *Filtrado de pulpa de papel*



Gráfico 13-3: Balance de masa en el filtrado de pulpa de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$Rendimiento (\%) = \frac{Salida}{Entrada} * 100$$

$$Rendimiento (\%) = \frac{V}{U} * 100$$

$$Rendimiento (\%) = \frac{0,0524 Kg}{0,5199 Kg} * 100$$

$$Rendimiento = 10,07 \%$$

- Filtrado de pulpa de cartón

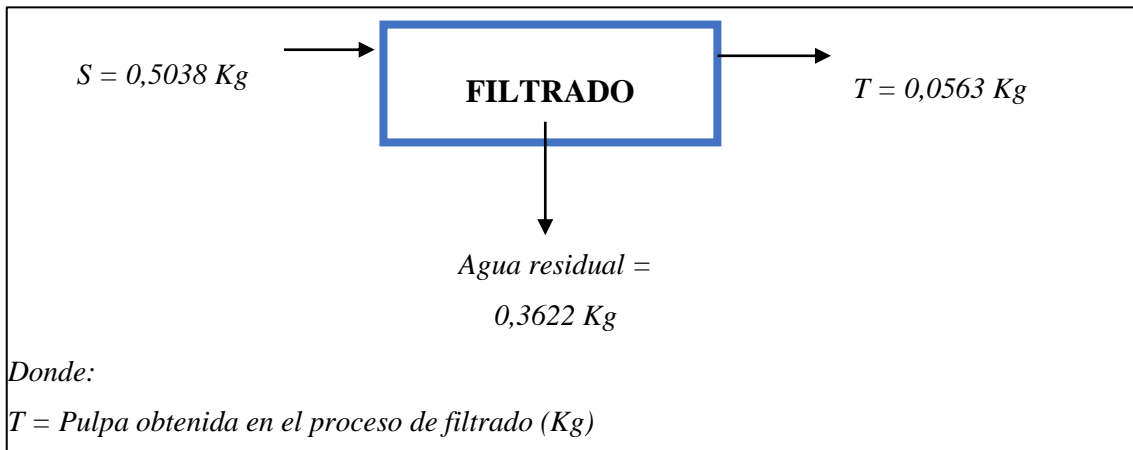


Gráfico 14-3: Balance de masa en el filtrado de pulpa de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{T}{S} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0563 \text{ Kg}}{0,5038 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 11,17 \%$$

- Lavado de pulpa de papel

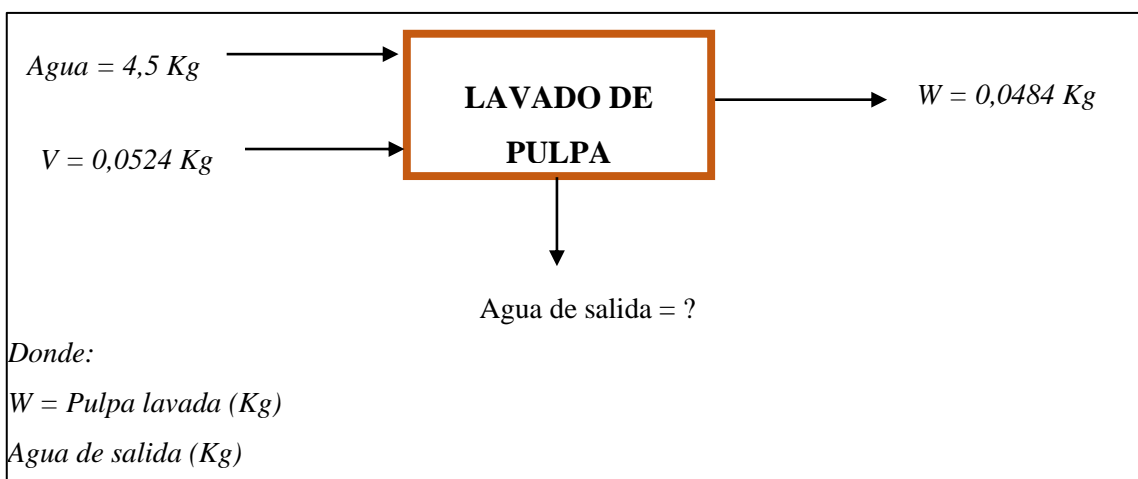


Gráfico 15-3: Balance de masa en el lavado de pulpa de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Realizamos un balance global para determinar el agua de salida:

$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ \text{Agua} + V &= \text{Agua de salida} + W \\ 4,5 \text{ Kg} + 0,0524 \text{ Kg} &= \text{Agua de salida} + 0,0484 \text{ Kg} \\ \text{Agua de salida} &= 4,502 \text{ Kg} \end{aligned}$$

El valor obtenido en el agua de salida evidencia un aumento de peso esto debido a que contiene sólidos disueltos en su composición, los mismos no quedaron retenidos en la malla filtrante, esto ha ocasionado que pasen directamente al recipiente que almacena el agua residual. Esto lo comprobamos en los análisis químicos del agua residual localizados en el ANEXO, encontrando solidos disueltos expresados en (g/L).

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} (\%) &= \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100 \\ \text{Rendimiento} (\%) &= \frac{W}{V} * 100 \\ \text{Rendimiento} (\%) &= \frac{0,0484 \text{ Kg}}{4,5524 \text{ Kg}} * 100 \\ \text{Rendimiento} &= 1,06 \% \end{aligned}$$

- Lavado de pulpa de cartón

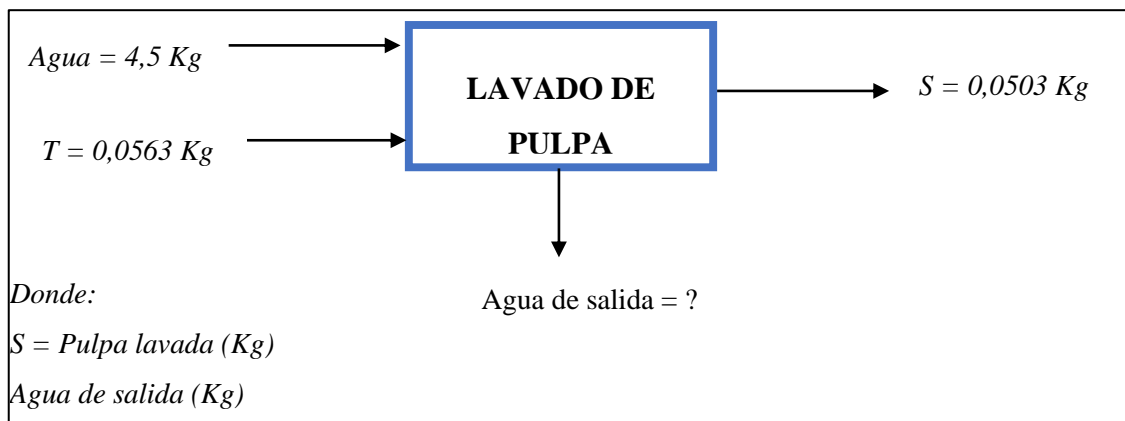


Gráfico 16-3: Balance de masa en el lavado de pulpa de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Realizamos un balance global para determinar el agua de salida:

$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ \text{Agua} + T &= \text{Agua de salida} + S \end{aligned}$$

$$4,5 \text{ Kg} + 0,0563 \text{ Kg} = \text{Agua de salida} + 0,0503 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua de salida} = 4,506 \text{ Kg}$$

El valor obtenido en el agua de salida evidencia un aumento de peso esto debido a que contiene sólidos disueltos en su composición, los mismos no quedaron retenidos en la malla filtrante, esto ha ocasionado que pasen directamente al recipiente que almacena el agua residual. Esto lo comprobamos en los análisis químicos del agua residual localizados en el ANEXO, encontrando sólidos disueltos expresados en (g/L).

$$\text{Rendimiento} (\%) = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{S}{T} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{0,0503 \text{ Kg}}{4,5563 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 1,10 \%$$

- *Elaboración de mezcla para papel*

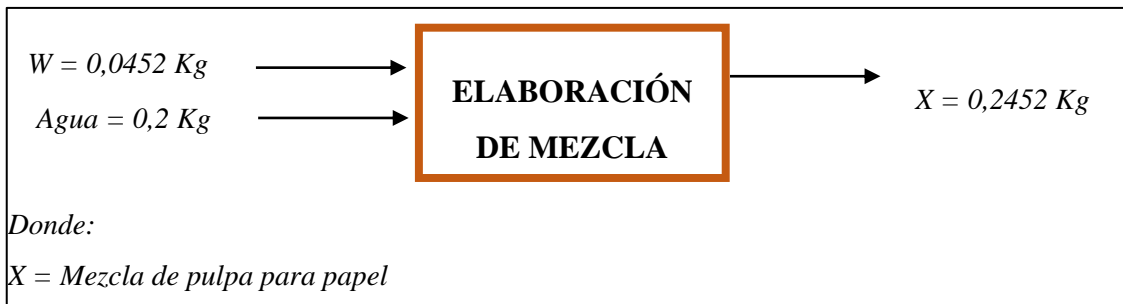


Gráfico 17-3: Balance de masa en la elaboración de mezcla de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

- *Elaboración de mezcla para cartón*



Donde:

T = Mezcla de pulpa para cartón

Gráfico 18-3: Balance de masa en la elaboración de mezcla de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

- *Formación de láminas de papel*

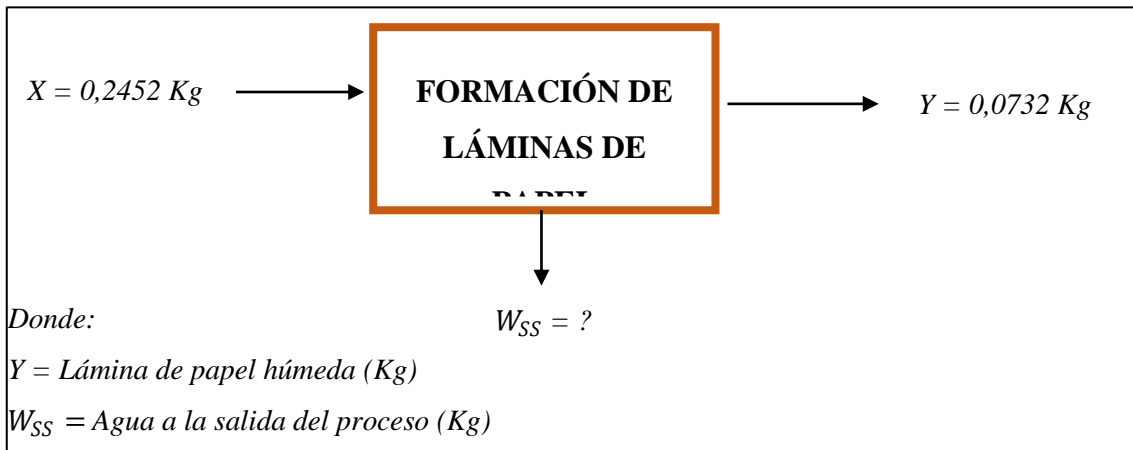


Gráfico 19-3: Balance de masa en la formación de láminas de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Balance de masa:

$$\begin{aligned} \text{Entrada} &= \text{Salida} \\ X &= Y + W_{SS} \\ 0,2452 &= 0,0732 \text{ Kg} + W_{SS} \\ W_{SS} &= 0,172 \text{ Kg} \end{aligned}$$

En la formación de la lámina de papel la malla empleada en el bastidor retiene la pulpa y filtra el agua, mediante cálculos determinamos las pérdidas pequeñas de pulpa.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento}(\%) &= \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100 \\ \text{Rendimiento}(\%) &= \frac{Y}{X} * 100 \\ \text{Rendimiento}(\%) &= \frac{0,0732 \text{ Kg}}{0,2452 \text{ Kg}} * 100 \\ \text{Rendimiento} &= 29,85 \% \end{aligned}$$

- Formación de láminas de cartón

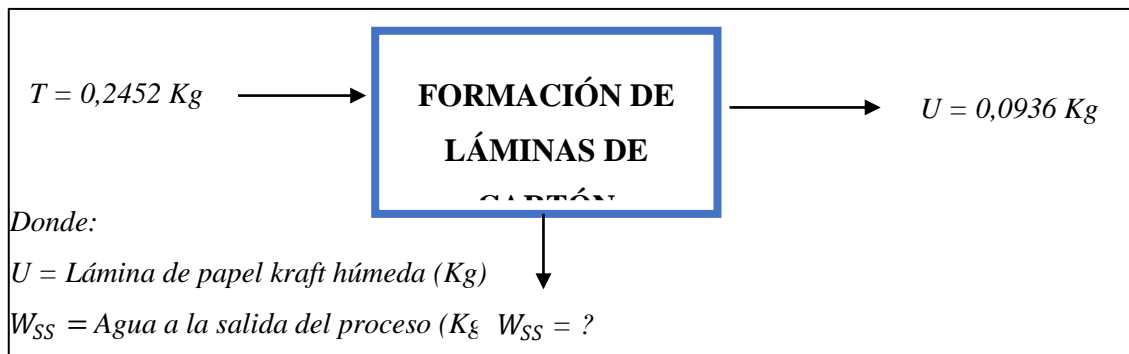


Gráfico 20-3: Balance de masa en la formación de láminas de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$T = U + W_{SS}$$

$$0,2452 = 0,0936 \text{ Kg} + W_{SS}$$

$$W_{SS} = 0,1516 \text{ Kg}$$

En la formación de la lámina de papel la malla empleada en el bastidor retiene la pulpa y filtra el agua, mediante cálculos determinamos las pérdidas pequeñas de pulpa.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{U}{T} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{0,0936 \text{ Kg}}{0,2452 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 38,17 \%$$

- *Prensado de hoja de papel*

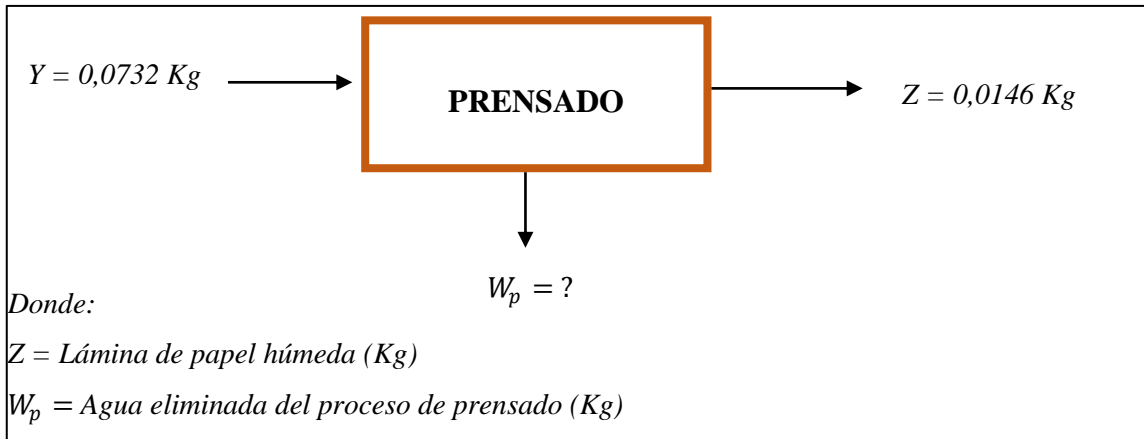


Gráfico 21-3: Balance de masa en el prensado de hoja de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$Y = Z + W_p$$

$$0,0732 \text{ Kg} = 0,0146 \text{ Kg} + W_p$$

$$W_p = 0,0586 \text{ Kg}$$

Rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{Z}{Y} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0146 \text{ Kg}}{0,0732 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 19,94 \%$$

- *Prensado de hoja de cartón*

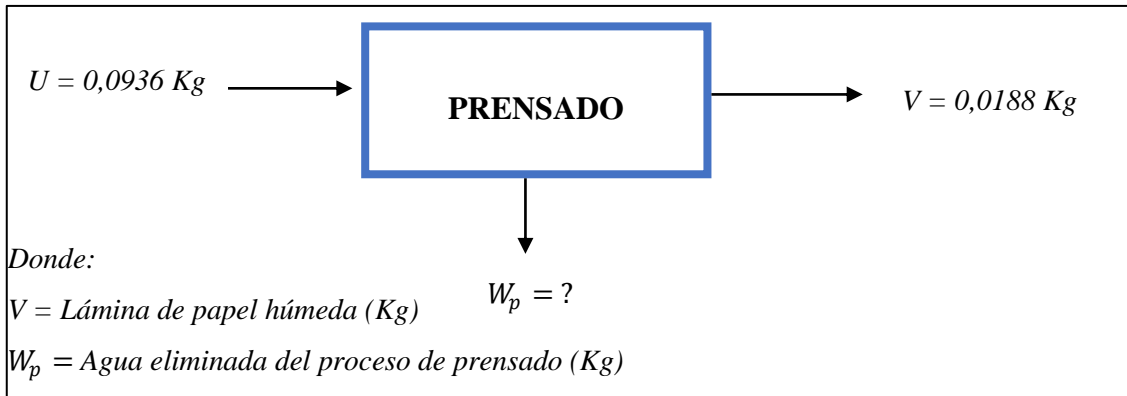


Gráfico 22-3: Balance de masa en el prensado de hoja de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$U = V + W_p$$

$$0,0936 \text{ Kg} = 0,0188 \text{ Kg} + W_p$$

$$W_p = 0,0748 \text{ Kg}$$

$$W_p = 0,0586 \text{ Kg}$$

Rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{V}{U} * 100$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{0,0188 \text{ Kg}}{0,0936 \text{ Kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 20,08 \%$$

- *Secado de lámina de papel*

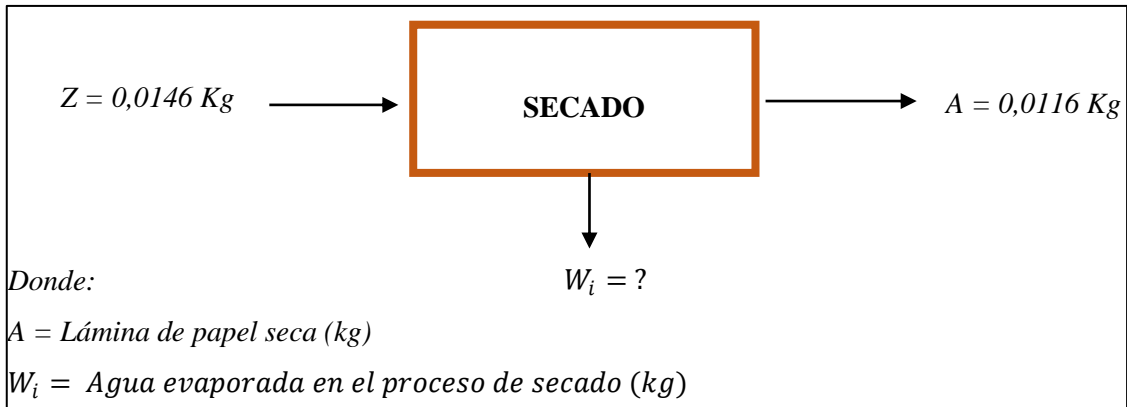


Gráfico 23-3: Balance de masa en el secado de lámina de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$Z = A + W_i$$

$$0,0146 \text{ kg} = 0,0116 \text{ kg} + W_i$$

$$W_i = 0,003 \text{ kg}$$

Rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{A}{Z} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{0,0116 \text{ kg}}{0,0146 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = 79,45\%$$

- *Secado de lámina de cartón*

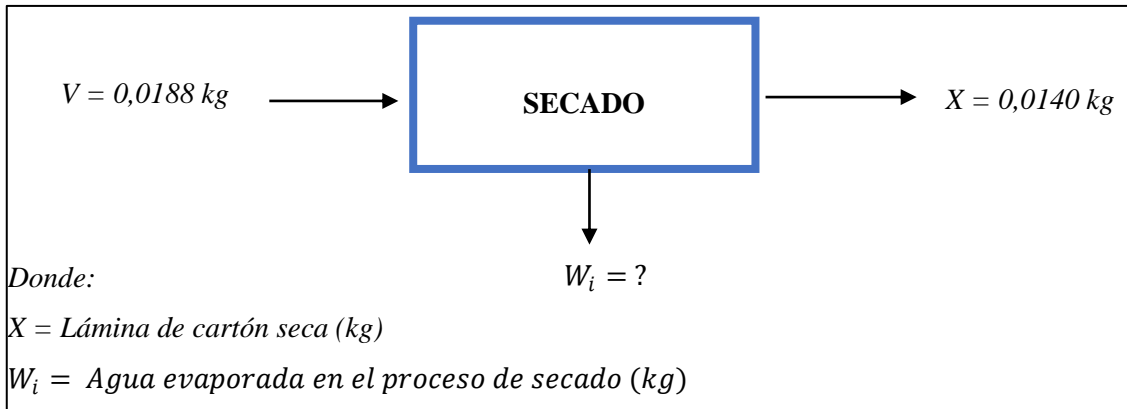


Gráfico 24-3: Balance de masa en el secado de lámina de cartón.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$V = X + W_i$$

$$0,0188 \text{ kg} = 0,0140 \text{ kg} + W_i$$

$$W_i = 0,0048 \text{ kg}$$

Rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{X}{V} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{0,0140 \text{ kg}}{0,0188 \text{ kg}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = 74,46 \%$$

- *Balance de energía*
- **Balance de energía del secador**
- **Cálculo de calor sensible**

En el proceso de secado la hoja de papel y cartón ingresan al secador de bandejas a una temperatura de 20 °C, hasta alcanzar una temperatura de saturación de 35°C. Esto permite eliminar

el agua contenida en la hoja. El valor de Entalpía (H) y las propiedades termodinámicas del agua y agua saturada se obtienen a partir de una carta psicométrica.

$$H_{\text{agua a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}} (\text{kJ/kg}) = 83,92$$

$$H_{\text{agua a } 35 \text{ } ^\circ\text{C}} (\text{kJ/kg}) = 146,64$$

$$C_S = H_{\text{Agua} - 35^\circ\text{C}} - H_{\text{Agua} - 20^\circ\text{C}}$$

Donde:

$$C_S = \text{Calor sensible (kJ/kg)}$$

$$H_{\text{Agua-}20 \text{ } ^\circ\text{C}} = \text{Entalpía del agua a } 22^\circ\text{C}$$

$$H_{\text{Agua-}35 \text{ } ^\circ\text{C}} = \text{Entalpía del agua a } 35^\circ\text{C}$$

$$C_S = (146,64 - 83,92) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$C_S = 62,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- **Cálculo de calor latente**

El valor correspondiente al calor latente del agua de pasar de estado líquido a estado gaseoso de acuerdo con (Luís y Ríos 2011) es 2257 kJ/kg.

$$C_S = 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- **Cálculo del calor suministrado para llevar de 20°C a 35°C**

$$Q = (\text{Calor sensible} + \text{Calor latente}) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Donde:

$$Q = \text{Calor suministrado (kJ/kg)}$$

$$Q = (62,72 + 2257) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 2319,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- **Valor de CP del papel y cartón**

De acuerdo a (Guadalupe y Monzón 2020), la capacidad calorífica correspondiente al papel y cartón

tiene un valor de $1.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

- **Calor necesario para calentar al sólido**

$$Q_S = m_{papel, cartón} * C_P * \Delta T$$

Donde:

Q_S = Calor necesario para calentar el sólido (kJ)

C_P = Capacidad calorífica del papel y cartón (kJ/kg*°C)

ΔT = Gradiente de temperatura (°C)

- **Calor necesario para calentar la lámina de papel**

$$Q_S = m_{papel} * C_P * \Delta T$$

$$Q_S = (0,0146 \text{ kg}) * (1,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}) * (35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_S = 0,3066 \text{ kJ}$$

- **Calor necesario para calentar la lámina de cartón**

$$Q_S = m_{cartón} * C_P * \Delta T$$

$$Q_S = (0,0188 \text{ kg}) * (1,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}) * (35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_S = 0,3948 \text{ kJ}$$

3.2.4.2. Diseño de Equipos

En el diseño de equipos se empleó una escala de ampliación en una relación de 80:1 esto en función a los datos obtenidos a nivel de laboratorio, con el objetivo de que el volumen de los equipos pueda contener una mayor cantidad de materia prima e insumos. Por consiguiente, se realiza el diseño de un equipo por cada etapa del proceso, esto debido que para obtener papel y cartón se sigue la misma línea del proceso.

El material insigne en la construcción de equipos industriales es el acero inoxidable, esto debido a que presenta características como la alta resistencia ante el fenómeno de la corrosión y brinda un cuidado para la salud. En la industria de papel, por el uso de sustancias corrosivas y las diferentes conductividades térmicas que están expuestos la maquinaria en el proceso se ha escogido dos tipos de materiales que serán una referencia para la fabricación de los equipos:

ACERO INOXIDABLE ASTM (American Society for Testing and Materials) A240: el acero de esta categoría es resistente a elevadas temperaturas las cuales se encuentran en equipos como digestores, intercambiadores de hornos, tanques, evaporadores y equipos de celulosa. El material señalado presenta una conductividad térmica de 500°C y una expansión térmica en un rango comprendido de 32°F a 600°F.

ACERO INOXIDABLE AISI (American Iron and Steel Institute) 304: este acero con composición de (11% Níquel y 19% Cromo) tiene como característica principal la resistencia a la corrosión. Esto lo hace idóneo para la fabricación del equipo de destintado puesto a que en esta etapa se utiliza sustancias corrosivas como el hidróxido de sodio y silicato de sodio.

➤ **Diseño de mesa de selección de materia prima**

- **Volumen de la mesa**

Tabla 15-3: Dimensiones de la mesa de selección de materia prima

<i>Especificaciones</i>	<i>Dimensión (m)</i>
Longitud de la mesa (L_m)	3,0
Ancho de la mesa (a_m)	1,0
Altura de la caja de la mesa (h_m)	0,2
Altura de la mesa (h_o)	1,3

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$V_m = L_m * a_m * h_m$$

$$V_m = 3,0 \text{ m} * 1,0 \text{ m} * 0,2 \text{ m}$$

$$V_m = 0,6 \text{ m}^3$$

- **Capacidad de la mesa**

Tabla 16-3: Dimensiones para la capacidad de la mesa

Especificaciones	Dimensión (Kg/m³)
Densidad de papel	90
Densidad de cartón	50

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$\rho_{papel} = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho_{papel} * v$$

$$m = 90 \frac{Kg}{m^3} * 0,6 m^3$$

$$m = 54 Kg$$

$$\rho_{cartón} = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho_{cartón} * v$$

$$m = 50 \frac{Kg}{m^3} * 0,6 m^3$$

$$m = 30 Kg$$

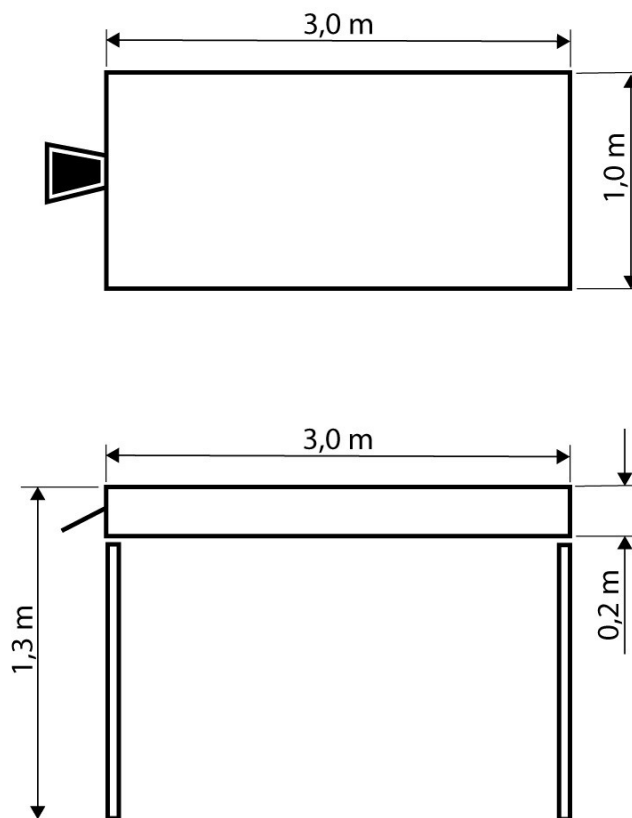


Gráfico 25-3: Dimensiones para la capacidad de la mesa.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

➤ **Diseño de triturador industrial**

Se calcula el volumen del Pulper en base a las especificaciones anteriores. A nivel laboratorio se utilizó una masa de papel con un valor equivalente a 0,4776 Kg y de cartón igual a 0,250 Kg esto con la finalidad de iniciar el proceso de reducción de tamaño, para el diseño del equipo utilizamos la aplicación 80:1, por lo tanto, la masa de papel que ingresa al proceso es de 38,21 Kg y la de cartón es 20 Kg.

- **Volumen de Pulper**

Tabla 17-3: Dimensiones para la capacidad del Pulper

<i>Especificaciones</i>	<i>Unidades (Kg)</i>
Masa de papel	38,21
Masa de cartón	20,00

Realizado por: Pilco, Carlos, 2021.

$$V_t = \frac{m_{papel, cartón}}{\rho_{papel, cartón}}$$

Donde:

$$V_t = \text{Volumen total (m}^3\text{)}$$

$$m_{papel, cartón} = \text{masa de papel y cartón (Kg)}$$

$$\rho_{papel, cartón} = \text{densidad de papel y cartón (Kg/m}^3\text{)}$$

- **Volumen total de papel**

$$V_t = \frac{m_{papel}}{\rho_{papel}}$$

$$V_t = \frac{38,21 \text{ Kg}}{800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_t = 0,047 \text{ m}^3$$

- **Volumen total de cartón**

$$V_t = \frac{m_{cartón}}{\rho_{cartón}}$$

$$V_t = \frac{20,00 \text{ Kg}}{600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_t = 0,033 \text{ m}^3$$

Tomando en cuenta el volumen total de papel y cartón se escoge para los cálculos de diseño del triturador, el valor del volumen total correspondiente a la del papel, con esto podemos optimizar el proceso para diseñar en función a la máxima capacidad.

Para lograr un proceso eficiente, en el diseño de la trituradora industrial se utilizó un factor de seguridad igual al 15%.

$$V_t = V_{t\text{ papel}} * \text{factor de seguridad}$$

$$V_t = 0,047 \text{ m}^3 * 1,5$$

$$V_t = 0,0705 \text{ m}^3$$

- **Radio de tanque**

El diámetro de la picadora se considera $\varnothing = 0,45 \text{ m}$

$$r = \frac{\varnothing}{2}$$

$$r = \frac{0,45 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,225 \text{ m}$$

- **Altura del tanque**

Considerando el volumen de la picadora la altura del tanque se calcula utilizando la ecuación.

$$V_t = \frac{\pi}{4} * \varnothing^2 * H$$

Realizando los despejes de variables se obtiene:

$$H = \frac{4 * V_t}{\pi * \varnothing^2}$$

Dónde:

$V_t = \text{Volumen del tanque (m}^3\text{)}$

$H = \text{Altura del tanque (m}^3\text{)}$

$$H = \frac{4 * (0,0705 \text{ m}^3)}{\pi * (0,45 \text{ m})^2}$$

$$H = 0,443 \text{ m}$$

Para la adecuada operación del equipo se utiliza un factor de seguridad a la altura del tanque correspondiente a un valor del 30%.

$$H_t = H * 1,15$$

$$H_t = (0,443 \text{ m}) * 1,15$$

$$H_t = 0,509 \text{ m}$$

- **Longitud de cuchillas**

Consideramos como longitud de 5/7 del radio circular esto en base al diseño de (Cuadrado 2019) tenemos:

$$L_c = \frac{5 * r}{7}$$

$$L_c = \frac{5 * (0,225 \text{ m})}{7}$$

$$L_c = 0,161 \text{ m}$$

- **Radio del rodete de cuchillas**

$$R_{rc} = \frac{2 * L_c}{5}$$

$$R_{rc} = \frac{2 * (0,161 \text{ m})}{5}$$

$$R_{rc} = 0,0644 \text{ m}$$

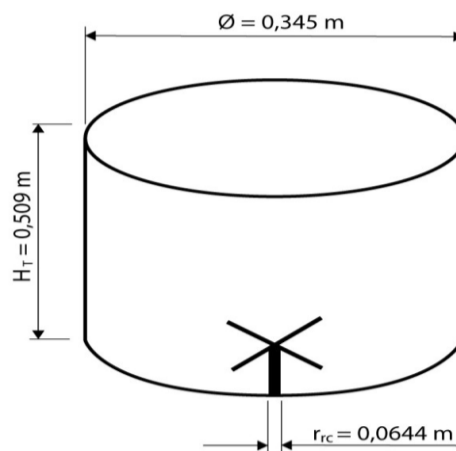


Gráfico 26-3: Dimensiones del triturador industrial.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

- **Energía de ruptura**

Se determinó la energía de ruptura tanto para el papel como para el cartón a partir de la siguiente ecuación:

$$E_{ruptura} = m_{papel, cartón} * \delta * H$$

La energía de ruptura para el papel es

$$E_{ruptura} = (38,21 \text{ kg}) * (9,8 \frac{m}{s^2}) * (0,509 \text{ m})$$

$$E_{ruptura} = 190,59 \text{ KJ}$$

La energía de ruptura para el cartón es

$$E_{ruptura} = (20 \text{ Kg}) * (9,8 \frac{m}{s^2}) * (0,509 \text{ m})$$

$$E_{ruptura} = 99,76 \text{ KJ}$$

- **Velocidad de la cuchilla**

La velocidad de cuchilla se determina a partir de la ecuación:

$$E_{ruptura} = E_c$$

$$E_{ruptura} = \frac{1}{2} * m_{papel, cartón} * v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * E_{ruptura}}{m_{papel, cartón}}}$$

Velocidad de cuchilla para triturar papel

$$v = \sqrt{\frac{2 * (190,59 \text{ KJ})}{38,21 \text{ kg}}}$$

$$v = 3,15 \text{ m/s}$$

Velocidad de cuchilla para triturar cartón

$$v = \sqrt{\frac{2 * (99,76 \text{ KJ})}{20 \text{ kg}}}$$

$$v = 3,15 \text{ m/s}$$

- **Aceleración angular**

$$\alpha = \frac{1}{2} * \frac{W^2}{2\pi \text{ rad}}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} * \frac{(184,32 \text{ rad/s})^2}{2\pi \text{ rad}}$$

$$\alpha = 2705,3 \text{ rad/s}$$

- **Masa de cuchilla móvil**

Tabla 18-3: Fuerza de corte de la cuchilla

<i>Especificaciones</i>	<i>Dimensión (N)</i>
Fuerza cortante	50,54

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

$$m_c = \frac{F_c * 3}{\alpha * L_c}$$

Donde:

m_c = masa de cuchilla móvil (Kg)

F_c = Fuerza de corte (N)

α = aceleración angular (rad/s)

L_c = longitud cuchilla (m)

$$m_c = \frac{(50,54 \text{ Kg}) * 3}{(2705,3 \text{ rad/s}) * (0,161\text{m})}$$

$$m_c = 0,348 \text{ Kg}$$

- **Fuerza centrífuga de la cuchilla**

$$F_c = m_c * W^2 * r$$

Donde:

F_c = Fuerza centrífuga (N)

m_c = masa cuchilla

$$F_c = (0,348 \text{ Kg}) * (184,38 \text{ rad/s})^2 * (0,225 \text{ m})$$

$$F_c = 2661,89 \text{ N} * \text{rad}^2 * \frac{1 \text{ rev}^2}{(2\pi\text{rad})^2}$$

$$F_c = 67,42 \text{ N}$$

- **Fuerza cortante**

$$\tau = \frac{F_c}{A}$$

$$A = e * L_c$$

Donde:

τ = fuerza cortante (Pa)

A = área de cuchilla (m²)

L_c = Longitud de cuchilla (m)

e = espesor cuchilla (m)

$$A = (0,005 \text{ m}) * (0,161 \text{ m})$$

$$A = 8,05 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{67,42 \text{ N}}{8,05 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 83751,5 \text{ Pa}$$

- **Torque de cuchilla**

$$T = F_c * L_c$$

$$T = (67,42 N) * (0,161 m)$$

$$T = 10,85 N m$$

- **Potencia de motor**

Como establece (Valdiviezo 2020), para el cálculo de la potencia de un motor en función de su torque utilizamos la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T * W}{9550}$$

$$P = \frac{(10,85 Nm) * (184,32 rad/s) * (1rpm/2\pi rad) * (60 s/ 1min)}{9550}$$

$$P = 1,99 H_p$$

➤ **Tamices vibratorios**

En este proceso ingresa un flujo másico de papel igual a 0,1087 Kg y un flujo másico de cartón igual a 0,1059 Kg para estos valores se adiciona el mismo factor de ampliación de 80:1 teniendo, así como alimentación de papel 8,70 Kg y una masa de alimentación de cartón de 8,47 Kg.

- **Cálculo del volumen del tamiz**

$$V_{tamiz} = \frac{m_{papel, cartón}}{\rho_{papel, cartón}} * F_s$$

Donde:

$$V_{tamiz} = \text{Volumen del tamiz (m}^3\text{)}$$

$$m_{papel, cartón} = \text{masa del papel y cartón (Kg)}$$

$$\rho_{papel, cartón} = \text{densidad de papel y cartón (Kg/m}^3\text{)}$$

$$F_s = \text{factor de paso para tamiz (1,2)}$$

- **Volumen de tamiz para papel**

$$V_{tamiz} = \frac{8,70 Kg}{800 kg/m^3} * (1,2)$$

$$V_{tamiz} = 0,0131 m^3$$

- **Volumen de tamiz para cartón**

$$V_{tamiz} = \frac{8,47 Kg}{600 Kg/m^3} * (1,2)$$

$$V_{tamiz} = 0,0169 m^3$$

Para el cálculo de la superficie del tamiz se tomó como referencia el método de Le-Blanc, según lo establece (Blanco citado por Valdiviezo, 2020):

$$S = \left(\frac{T}{C_t} \right) * f_s$$

Donde:

$C_t =$ Capacidad unitaria ($\text{ton}/\text{m}^2 \text{ h}$)

$T =$ Flujo másico tratado (ton/h)

$S =$ Superficie de la criba (m^2)

Para determinar la capacidad unitaria del tamiz tomamos como base las consideraciones tal como lo establece (Valdiviezo 2020), el porcentaje de rechazo igual al 6% para una malla de $260 \mu\text{m}$, además teniendo en cuenta los parámetros ligados al material, proceso y al equipo.

La determinación de la capacidad unitaria del tamiz está dada por:

$$C_t = W * \frac{L}{L_0} * \frac{\rho}{1,5} * F_1 * F_2 * F_3 * F_4 * F_5 * F_6 * F_7 * F_8$$

No tomamos en cuenta el factor F_3 y F_4 por lo que corresponde a tamices conformados por varios pisos y al material humedecido.

$$C_t = W * \frac{L}{L_0} * \frac{\rho_{\text{papel, cartón}}}{1,5} * F_1 * F_2 * F_5 * F_6 * F_7 * F_8$$

Donde:

$W =$ Capacidad base ($0,1708 \text{ ton}/\text{m}^2 \text{ h}$)

$L =$ Porcentaje en huecos de la criba

$L_0 =$ Capacidad base ($31,64$)

$\rho =$ densidad de papel y cartón ($8 \text{ ton}/\text{m}^3$; $6 \text{ ton}/\text{m}^3$)

$F_1 =$ Factor de corrección por la desviación de la forma de las láminas de papel y cartón (1)

$F_2 =$ Factor de cribas horizontales ($0,80$)

$F_5 =$ Factor de corrección de porcentaje de rechazo

$F_6 =$ Factor de eficiencia deseado

$F_7 =$ Factor de corrección a la dimensión de la mitad de la malla

$F_8 =$ Factor de corrección del contenido de humedad del producto

Considerando que el porcentaje de rechazo es menor al 8% los factores F_5 , F_6 , F_7 se descartan. Por lo tanto, se tiene:

Para el papel

$$C_t = 0,171 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}} * \frac{65}{31,64} * \frac{8 \text{ ton}/\text{m}^3}{1,5} * 1 * 0,8 * 0,8$$
$$C_t = 1,19 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}}$$

Para el cartón

$$C_t = 0,171 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}} * \frac{65}{31,64} * \frac{6 \text{ ton}/\text{m}^3}{1,5} * 1 * 0,8 * 0,8$$
$$C_t = 0,89 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}}$$

La superficie del tamiz se calcula tomando en cuenta la máxima capacidad, para este caso escogemos el dato del papel puesto que este material es el que generó la mayor capacidad, con relación al cartón.

$$S = \left(\frac{8,70 \text{ Kg}}{1,19 \text{ ton}/\text{m}^2\text{h}} \right) * (1,2) * \left(\frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ Kg}} \right)$$
$$S = 0,0087 \text{ m}^2$$

Para obtener el diámetro del tamiz utilizamos la siguiente ecuación:

$$\phi = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$
$$\phi = \sqrt{\frac{4(0,0087 \text{ m}^2)}{\pi}}$$
$$\phi = 0,105 \text{ m}$$

- **Tanque de destintado**

Para el diseño del tanque de destintado trabajamos con los datos obtenidos en el balance de masa, por lo cual aplicamos el factor de expansión 80:1.

- **Cálculo de volumen de pulpa de papel**

$$m_{\text{pulpa de papel}} = 5,25 \text{ Kg}$$

$$\rho_{\text{pulpa de papel}} = 1051,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$V_{\text{pulpa}} = \frac{m_{\text{pulpa de papel}}}{\rho_{\text{pulpa de papel}}}$$

$$V_{pulpa} = \frac{5,25 \text{ Kg}}{1051,2 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V_{pulpa} = 0,00499 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de volumen de pulpa de cartón**

$$m_{pulpa \text{ de cartón}} = 6,47 \text{ Kg}$$

$$\rho_{pulpa \text{ de cartón}} = 1294,4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V_{pulpa} = \frac{m_{pulpa \text{ de cartón}}}{\rho_{pulpa \text{ de cartón}}}$$

$$V_{pulpa} = \frac{6,47 \text{ Kg}}{1294,4 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V_{pulpa} = 0,00499 \text{ m}^3$$

Para la obtención de la capacidad volumétrica total del tanque de destintado procedemos a sumar el volumen de pulpa con todos los insumos que intervienen en este proceso:

$$V_{tanque} = V_{pulpa} + V_{disolución \text{ NaOH}} + V_{disolución \text{ Na}_2\text{SiO}_3} + V_{tensoactivo}$$

$$V_{tanque} = 0,00499 \text{ m}^3 + 0,02 \text{ m}^3 + 0,02 \text{ m}^3 + 0,000412 \text{ m}^3$$

$$V_{tanque} = 0,0454 \text{ m}^3$$

Tomando en consideración el factor de seguridad igual al 20%

Finalmente tenemos como volumen total del tanque es:

$$V_T = V_{tanque} + V_{tanque} * (0,20)$$

$$V_T = (0,0454 \text{ m}^3) + (0,0454 \text{ m}^3) * (0,20)$$

$$V_T = 0,0545 \text{ m}^3$$

- **Altura del tanque**

Asumimos un diámetro 0,3 m para el tanque.

$$h = \frac{V_T}{\pi * r^2}$$

Donde:

$h = \text{Altura (m)}$

$V_T = \text{Volumen total del recipiente (m}^3\text{)}$

$r = \text{radio del recipiente (m)}$

$$h = \frac{0,0545 \text{ m}^3}{\pi * (0,15\text{m})^2}$$

$$h = 0,7710 \text{ m}$$

Consideramos un factor de seguridad igual al 10%

$$h_T = h + h * 0,10$$

$$h_T = 0,7710 \text{ m} + (0,7710 \text{ m}) * 0,10$$

$$h_T = 0,9 \text{ m}$$

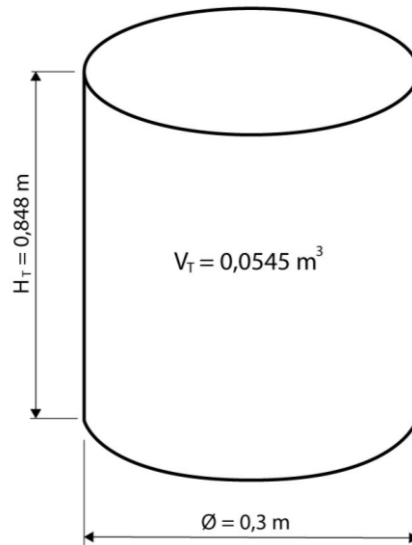


Gráfico 27-3: Dimensiones del tanque de destintado.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

- **Agitador**

Para obtener una mezcla de consistencia entre la pulpa y el agua utilizamos un agitador de palas para dimensionar esto procedemos a realizar los cálculos correspondientes:

- **Volumen del agitador**

$$V_t = V_{pulp} + V_{agua}$$

$$V_t = 0,00499 \text{ m}^3 + 0,04 \text{ m}^3$$

$$V_t = 0,0449 \text{ m}^3$$

Empleando un factor de seguridad igual al 20% tenemos como volumen final:

$$\begin{aligned}V_A &= V_t + V_t * (0,20) \\V_A &= 0,0449 \text{ m}^3 + 0,0449 \text{ m}^3 * (0,20) \\V_A &= 0,0539 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- **Altura del agitador**

Asumimos que el diámetro es 0,35 m

$$\begin{aligned}h &= \frac{V_A}{\pi * r^2} \\h &= \frac{0,0539 \text{ m}^3}{\pi * (0,175 \text{ m})^2} \\h &= 0,5602 \text{ m}\end{aligned}$$

Colocamos un factor de seguridad igual al 15%, obteniendo:

$$\begin{aligned}H &= h + h * (0,15) \\H &= 0,5602 \text{ m} + 0,5602 \text{ m} * (0,15) \\H &= 0,6442 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Diseño interno del agitador**

Para el diseño del agitador se tomó las directrices del estudio presentado por Valdiviezo (2020) en el cual determina las ecuaciones de diseño ideales para un agitador para pulpa de papel.

- **Diámetro interno del rodete**

Tomamos como valor de $D_t = h = 0,644 \text{ m}$

$$\begin{aligned}D_a &= \frac{2D_t}{3} \\D_a &= \frac{2(0,644\text{m})}{3} \\D_a &= 0,429 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Altura del rodete respecto al fondo del tanque**

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$E = \frac{1}{3} * (0,644m)$$

$$E = 0,215 m$$

- **Longitud del brazo**

$$L_{eje} = H - E$$

$$L_{eje} = 0,644 m - 0,215 m$$

$$L_{eje} = 0,429 m$$

- **Ancho de las paletas**

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$W = \frac{0,429 m}{5}$$

$$W = 0,0868 m$$

- **Longitud de paletas**

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$L = \frac{0,429 m}{4}$$

$$L = 0,1073 m$$

- **Ancho para las placas deflectoras**

$$j = \frac{0,644 m}{12}$$

$$j = 0,053 m$$

➤ **Tanque de lavado**

- **Cálculo de volumen de pulpa de papel**

$$m_{pulpa\ de\ papel} = 4,20\ Kg$$

$$\rho_{pulpa\ de\ papel} = 1051,2 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V_{pulpa} = \frac{m_{pulpa\ de\ papel}}{\rho_{pulpa\ de\ papel}}$$

$$V_{pulpa} = \frac{4,20\ Kg}{1051,2\ Kg/m^3}$$

$$V_{pulpa} = 0,00399 m^3$$

- **Cálculo de volumen de pulpa de cartón**

$$m_{pulpa\ de\ cartón} = 4,50\ kg$$

$$\rho_{pulpa\ de\ cartón} = 1294,4\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V_{pulpa} = \frac{m_{pulpa\ de\ cartón}}{\rho_{pulpa\ de\ cartón}}$$

$$V_{pulpa} = \frac{4,50\ Kg}{1294,4\ Kg/m^3}$$

$$V_{pulpa} = 0,00347\ m^3$$

Para la obtención de la capacidad volumétrica total del tanque de lavado procedemos a sumar el volumen de pulpa con el volumen total de agua que se utiliza en esta etapa:

$$V_{tanque} = V_{pulpa} + V_{agua}$$

$$V_{tanque} = 0,00399\ m^3 + 0,36\ m^3$$

$$V_{tanque} = 0,363\ m^3$$

Tomando en consideración el factor de seguridad igual al 20%

Finalmente tenemos como volumen total del tanque es:

$$V_T = V_{tanque} + V_{tanque} * (0,20)$$

$$V_T = (0,36m^3) + (0,36\ m^3) * (0,20)$$

$$V_T = 0,432\ m^3$$

- **Altura del tanque**

Asumimos un diámetro 0,6 m para el tanque.

$$h = \frac{V_T}{\pi * r^2}$$

Donde:

$h =$ Altura (m)

$V_T =$ Volumen total del recipiente (m^3)

$r =$ radio del recipiente (m)

$$h = \frac{0,432 \text{ m}^3}{\pi * (0,30\text{m})^2}$$

$$h = 1,52 \text{ m}$$

Consideramos un factor de seguridad igual al 10%

$$h_T = h + h * 0,10$$

$$h_T = 1,52 \text{ m} + (1,52 \text{ m}) * 0,10$$

$$h_T = 1,67 \text{ m} \approx 1,70 \text{ m}$$

➤ **Formadora de papel**

La formadora de papel se diseñó para obtener hojas de papel en formato A4, las dimensiones de este formato corresponden a los siguientes valores: Ancho: 0,21 m; Alto: 0,297 m.

• **Volumen del bastidor**

Diseño de la base de bastidor

Consideramos un espesor de 0,025 m

$$V_b = ancho * largo * espesor$$

$$V_b = (0,21\text{m}) * (0,297\text{m}) * (0,025\text{m})$$

$$V_b = 0,00155 \text{ m}^3$$

• **Bastidor superior**

Tomamos como medidas de diseño el espesor igual a la de la base que es de 0,025 m y una altura de 0,05 m.

$$V_{bs} = ancho * largo * espesor$$

$$V_{bs} = (0,21\text{m}) * (0,297\text{m}) * (0,05\text{m})$$

$$V_{bs} = 0,00311 \text{ m}^3$$

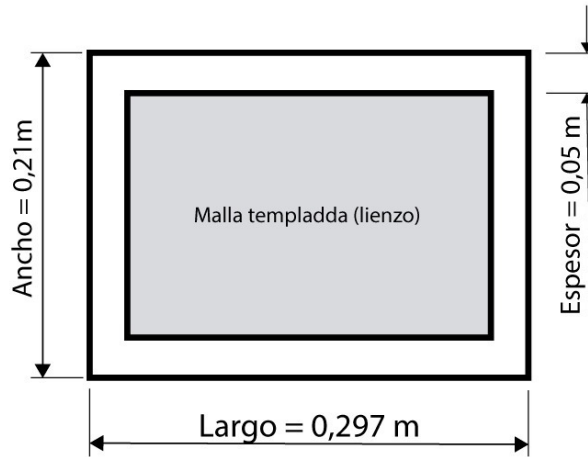


Gráfico 28-3: Dimensiones de la formadora de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

➤ **Prensa hidráulica de papel**

La prensa hidráulica de papel y cartón se diseñó con la finalidad de eliminar el 80% de agua retenida por la hoja de papel y cartón en la etapa de formación de la hoja.

La prensa está conformada por un pórtico que será el almacén en donde estará contenido una base y un pistón.

• **Dimensiones del pórtico de la prensa**

$L_1 = 800 \text{ mm}$

$L_2 = 1100 \text{ mm}$

$L_3 = 1200 \text{ mm}$

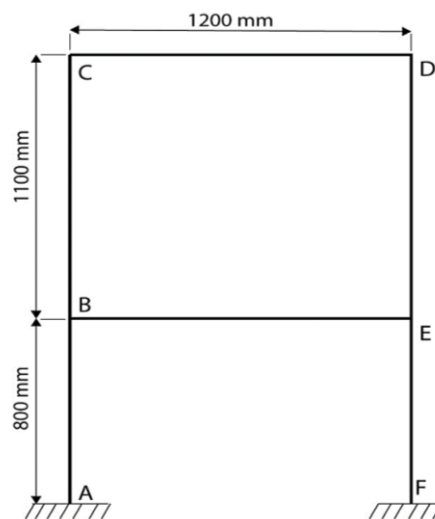


Gráfico 29-3: Dimensiones de la prensa hidráulica de papel.

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

- **Dimensiones de la base de la prensa**

La base de la prensa presenta las siguientes dimensiones: alto: 500 mm; ancho: 500 mm y un espesor de 12,5 mm.

- **Resistencia de la plancha de acero**

Peso de papel prensado

$$W_1 = \rho * g$$
$$W_1 = 800 \frac{Kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$
$$W_1 = 7848 N$$

Peso de cartón prensado

$$W_2 = 600 \frac{Kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$
$$W_2 = 5886 N$$

Para este diseño se establece que el peso que posee la plancha es:

$$W_3 = 33,66 * 9,81$$
$$w_3 = 330,25 N$$

Establecemos la fuerza de compresión que resiste la plancha:

$$W_4 = 19620 N$$

Presión sobre la plancha

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$
$$W_T = 7848 + 5886 + 330,25 + 19620$$
$$W_T = 33684,25 N$$

$$P = \frac{W_T}{1.207 \times 10^{-6}}$$
$$P = \frac{33684,25 N}{1.207 \times 10^{-6}}$$
$$P = 279074 Pa$$

➤ **Estufa de secado**

• **Volumen de secador**

Con los valores conocidos de los flujos de entrada en el balance de materia y aplicando el factor de expansión, tenemos:

Masa de hoja de papel húmeda = 1,12 Kg

Masa de hoja de cartón húmeda = 1,50 Kg

Masa de hoja de papel seca = 0,93 Kg

Masa de hoja de cartón seca = 1,12 Kg

$$V = \text{largo} * \text{ancho} * \text{alto}$$

$$V = 1,2 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 1,2 \text{ m}$$

$$V = 0,864 \text{ m}^3$$

Aplicando el factor de seguridad de 20% tenemos:

$$V_T = V * 1,20$$

$$V_T = 0,864 \text{ m}^3 * 1,20$$

$$V_T = 1,04 \text{ m}^3$$

• **Cálculo de calor necesario para secar las láminas de papel y cartón**

$$Q_s = A * C_p(\text{papel, cartón}) * \Delta T$$

Donde:

Q_s = Calor necesario para secar papel y cartón (KJ)

A = Cantidad de hojas de papel y cartón que salen del secador (Kg)

$C_p(\text{papel, cartón})$ = Calor específico de papel y cartón (KJ/kg °C)

ΔT = Gradiente de temperatura (°C)

Para la lámina de papel:

$$Q_a = 0,93 \text{ kg} * 1,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (35 - 20 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_a = 19,53 \text{ KJ}$$

Para la lámina de cartón:

$$Q_a = 1,12 \text{ kg} * 1,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (35 - 20 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_a = 23,52 \text{ KJ}$$

- **Calor necesario para calentar y evaporar agua**

$$Q_b = W_b * C_{P(\text{agua})} * (212 - T_w) + W_b * h_{fg}$$

Donde:

W_b = Cantidad de agua evaporada (Kg)

C_p = Calor específico del agua (KJ/Kg °C)

h_{fg} = Entalpía de evaporación (KJ/Kg)

$$Q_b = (0,5 \text{ Kg}) * 4,193 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (212 - 35^\circ\text{C}) + (0,5 \text{ Kg}) * (2449,4 \text{ KJ/Kg})$$

$$Q_b = 1595,78 \text{ KJ}$$

- **Calor necesario para aumentar la temperatura del vapor**

$$Q_c = W_b * (h_{ft} - h_{gt})$$

Donde:

h_{gt} = Entalpía de vapor saturado a 20 °C

h_{ft} = Entalpía de vapor saturado a 35 °C

$$Q_c = (0,5 \text{ kg}) * (2564,6 - 2537,4) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_c = 13,6 \text{ KJ}$$

- **Calor total de secado**

$$Q_T = Q_a + Q_b + Q_c$$

$$Q_T = 1652,43 \text{ KJ}$$

- **Cálculo de consumo de vapor**

$$CV = \frac{Q_T}{h_{fg}}$$

$$CV = \frac{1652,43 \text{ KJ}}{2435,6 \text{ KJ/Kg}}$$

$$CV = 0,678 \text{ Kg}$$

- **Área de transferencia de calor**

$$Q_T = U * A_t * \Delta T$$

Donde:

$U =$ Coeficiente global de transferencia de calor 204,28 (KJ/h m² °C)

$A_t =$ Área de transferencia de calor (m²)

$\Delta T =$ Diferencia de temperatura (°C)

Cálculo del gradiente de temperatura:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{\text{sólido}} - \Delta T_{\text{aire}}}{2}$$

$$\Delta T = \frac{(35 - 20)^\circ\text{C} - (20 - 105)^\circ\text{C}}{2}$$

$$\Delta T = 50^\circ\text{C}$$

Cálculo área de transferencia:

$$A_t = \frac{Q_t}{U * \Delta T}$$

$$A_t = \frac{1652,43 \text{ KJ}}{(204,28 \text{ KJ/m}^2\text{°C}) * (50^\circ\text{C})}$$

$$A_t = 0,1617 \text{ m}^2$$

3.2.4.3. Resultados del diseño del proceso

En la obtención de las hojas de papel y cartón se sigue una misma línea de proceso, es por ello por lo que los resultados presentados en la Tabla 20-3 corresponden a los valores de las capacidades máximas de cada uno de los equipos que intervienen en el proceso.

Tabla 20-3: Resultados del diseño del proceso

MESA DE SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA			
Descripción	Abreviatura	Valor	Unidades
Longitud de la mesa	L _m	3,0	m
Ancho de la mesa	a _m	1,0	m
Altura caja de la mesa	h _m	0,2	m
Altura total mesa	h _o	1,30	m
TRITURADOR			
Volumen	V _t	0,047	m ₃
Radio de tanque	r	0,225	m

Velocidad angular	α	2705,3	rad/s
Altura tanque	H_t	0,509	m
Longitud de cuchillas	L_c	0,161	m
Radio de cuchillas	R_{rc}	0,0644	m
Energía de ruptura	$E_{ruptura}$	190,59	KJ
Velocidad de cuchilla	v	3,15	m/s
Masa de cuchilla	m_c	0,348	Kg
Potencia de motor	P	1,99	H_p
TAMICES VIBRATORIOS			
Volumen de tamiz	V_{tamiz}	0,0169	m^3
Diámetro de tamiz	\emptyset	0,105	m
TANQUE DE DESTINTADO			
Volumen de tanque	V_T	0,0545	m^3
Altura	h_T	0,9	m
AGITADOR			
Volumen del agitador	V_A	0,0539	m^3
Altura del agitador	H	0,6442	m
Diámetro de rodete	D_a	0,429	m
Altura de rodete	E	0,215	m
Longitud del brazo	L_{eje}	0,429	m
Ancho de paletas	W	0,0868	m
Longitud de paletas	L	0,1073	m
TANQUE DE LAVADO			
Volumen de tanque	V_T		
Altura	h_T		
BASTIDORES FORMADORES DE HOJAS			
Volumen de la base del bastidor	V_b	0,00155	m^3
Altura de bastidor	h	0,297	m
Espesor	E	0,025	m
PRENSA			
Altura de soporte de la prensa	L_1	0,8	m

Altura del pórtico de la prensa	L_2	1,1	m
Ancho del pórtico de la prensa	L_3	1,2	m
Espesor de la base de prensa	E	0,0125	m
Altura de la base de prensa	H	0,5	m
Ancho de la base	A	0,5	m
Resistencia de presión sobre la base de la prensa	W_T	33684,25	N
SECADOR			
Volumen de secador	V_T	1,04	m^3
Calor para calentar hoja de papel	Q_a	19,53	KJ
Calor para calentar hoja de cartón	Q_a	23,52	KJ
Calor para evaporar agua	Q_b	1595,78	KJ
Calor total de secado	Q_T	1652,43	KJ
Área de transferencia de calor	A_T	0,1617	m^2

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.3. Requerimientos de Equipos y Maquinarias

3.3.1. Costo Insumos

Tabla 21-3: Costo Insumos

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Papel	54	kg	\$ 0,22	\$ 11,88
Cartón	30	kg	\$ 0,10	\$ 3,00
Hidróxido de Sodio	35	kg	\$ 1,34	\$ 46,90
Silicato de Sodio	185	kg	\$ 0,73	\$ 135,05
Tensoactivos	25	Kg	\$ 10,00	\$ 250,00
Agua	8000	L	\$ 0,01	\$ 80,00
Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.			TOTAL	\$ 526,83

3.3.2. Recursos humanos

Tabla 22-3: Costo Recursos Humanos

PROFESIONAL	NÚMERO	SUELDO	TOTAL
Trabajador Industrial	4	\$ 408,75	\$ 1.635,00
Jefe de Planta	1	\$ 435,12	\$ 435,12
Operador de Maquinaria Industrial	1	\$ 418,74	\$ 418,74
Jefe de Área de Producción/Calidad	1	\$ 424,93	\$ 424,93
Administrador Gerencial	1	\$ 417,62	\$ 417,62
TOTAL			\$ 3.331,41

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.3.3. Costo de maquinaria y equipos

Tabla 23-3: Maquinaria y equipos

MAQUINARIA – EQUIPOS	VALOR
Mesa de construcción mixta de acero inoxidable y acero negro	\$ 1.565,00
Mezcladora de acero inoxidable	\$ 3.650,00
Triturador de construcción mixta de acero inoxidable y acero negro	\$ 4.800,00
Prensa hidráulica acero negro	\$ 850,00
Secador de bandejas inoxidable	\$ 2.965,00
Tanque de lavado de acero inoxidable	\$ 1.120,00
TOTAL	\$ 14.950,00

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

3.3.4. Recursos totales

Tabla 24-3: Recursos totales

RUBROS	TOTAL
INSUMOS	\$ 526,83
RECURSOS HUMANOS	\$ 3.331,41
MAQUINARIA Y EQUIPOS	\$ 14.950,00
TOTAL	\$ 18.808,24

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

Los valores de costos de materia prima fueron establecidos en base a información solicitada a la empresa RECIPAZ (Recicladora Pazmiño), los costos de insumos se conocieron a partir de información proporcionada por la empresa Relubquim Cia. Ltda. A continuación, se determinó los costos correspondientes a recursos humanos, los valores descritos en la Tabla 22-3 se tomó en referencia al Anexo 1: Estructuras Ocupacionales - Salarios Mínimos Sectoriales Y Tarifas Comisión Sectorial No. 6 "Productos Industriales, Farmacéuticos Y Químicos", este anexo corresponde al proporcionado por el ministerio de trabajo. Finalmente, los costos de maquinaria y equipos se establecieron de acuerdo con la información entregada por la empresa INDUMEI (Industrias Metálicas Ibarra).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de papel reciclado

La caracterización del papel reciclado se realizó con base en las directrices presentadas en las normas TAPPI e INEN. Los resultados mostrados están descritos en fracciones de humedad, ceniza y consistencia.

Tabla 1-4: Resultados de la caracterización de papel reciclado.

Propiedad	Porcentaje (%) (m/m)
Humedad	8,44
Ceniza	50,22
Consistencia	3,32

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

4.2. Caracterización de cartón reciclado

En la caracterización del cartón reciclado se utilizó directrices presentadas en las normas TAPPI e INEN. Los resultados están descritos en fracciones de humedad, ceniza y consistencia.

Tabla 2-4: Resultados de la caracterización de cartón reciclado.

Propiedad	Porcentaje (%)
Humedad	9,22
Ceniza	48,91
Consistencia	2,32

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

4.3. Blancura de la lámina de papel

Las condiciones óptimas del tratamiento con solución alcalina, correspondientes a la máxima remoción de tintas del papel fueron: 20 minutos, 20 °C, consistencia de 0,474 %, flujo de aire 10 L/min y agitación (200 rpm), aplicando soluciones de NaOH al 5,6 % (m/m), Na₂SiO₄ 14,47 % (m/m) y tensoactivos 1% (m/m). Por ejemplo, según (Cho et al., 2012, p.699) en el destintado de la pulpa de papel usaron 0,7 % (m/m) de NaOH, 1,2% de Na₂SiO₄, 0,1 % de H₂O₂ y 0,003% (m/m) de tensoactivo. Además, un flujo de aire de 7 L/min y un tiempo de 10 minutos.

Las diferencias en las concentraciones se debieron a que en esta investigación se partió de una optimización para la remoción de las tintas, según (Cho et al., 2012, p.699) aquí no se empleó H₂O₂ dado que la remoción de pigmentos fue facilitada por aumentar el número de destintados y lavados de la pulpa. En cuanto al flujo de aire fue superior al del autor mencionado anteriormente. Este aumento puede ayudar a romper la tensión superficial y así permitir la remoción de tintas.

Tabla 3-4: Resultados colorimetría de lámina de papel.

Muestra	X ₁	Y ₁	Z ₁	ΔE	Longitud de onda	Reflectancia (%)
Estándar	80,21	83,12	97,87	-	400	33,38
m ₁	75,39	78,67	73,69	15,63	400	32,76
m ₂	73,12	76,90	72,04	15,95	400	42,54
m ₃	70,41	74,67	69,72	15,67	400	43,65

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

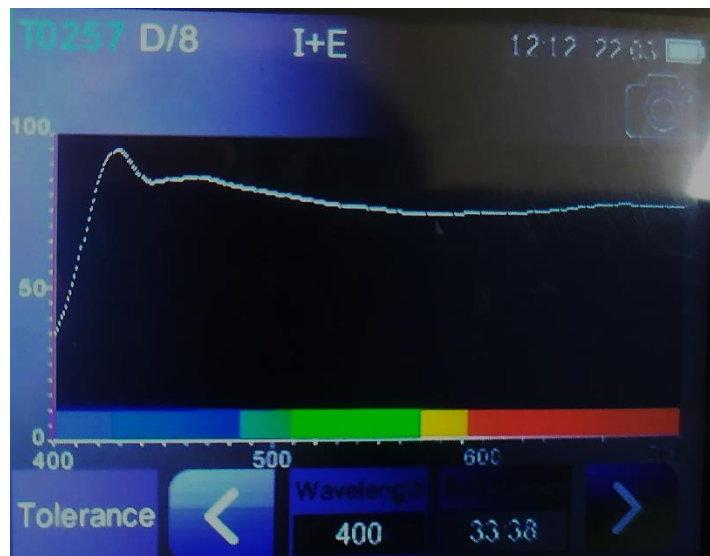


Figura 1– 4: Gráfica CIE XYZ del estándar de papel bond.

Fuente: Pilco, Carlos. 2021.

Para la determinación de la blancura del papel fue empleado un espectrofotómetro el cual brindó información acerca de las valencias primarias, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético.

El estándar para la comparación fue una lámina de papel bond comercial, el cual arrojó los siguientes valores triestímulos X=80,21; Y=83,12; Z= 97,87, estos cuando se ubicaron en el plano tridimensional CIE-1931 y correspondieron a un color blanco.



Figura 2– 4: Gráfica CIE XYZ de la muestra m1

Fuente: Pilco, Carlos. 2021.

En la elaboración de papel a escala industrial el blanqueado de la pulpa se lo lleva a cabo usando peróxido de hidrógeno o hipoclorito de sodio según (Valdiviezo, 2020, pp. 107-110). Dado que el estándar proviene de una materia prima que no ha sido reutilizada no necesita el empleo de otros agentes a más de los mencionados anteriormente. A diferencia de este estudio que se utilizó otra clase de reactivos, pudieron tener un efecto en el blanqueamiento. Por tal razón los valores de colorimetría correspondientes al color blanco de las muestras trabajadas son menores a la del patrón Tabla 3-4.

4.4. Colorimetría en lámina de cartón

En este estudio se adaptó el procedimiento de destintado de papel en cartón siendo de los pocos estudios que se trabaja con cartón. Por lo tanto, los datos arrojados en el proceso de destintado en medio alcalino, determinaron las condiciones idóneas para la remoción de las tintas contenidas en el cartón reciclado, las mismas se detallan a continuación: tiempo de tratamiento 20 minutos, temperatura de 20 °C, consistencia de 0,481 %, flujo de aire 10 L/min y una agitación de 200 rpm con la aplicación de las concentraciones de la solución alcalina de NaOH (1,4 mol/L), Na₂SiO₄ (1,2 mol/L) y tensoactivos (0,01 Kg/L). Adicionalmente, este procedimiento no alteró los componentes del cartón.

Tabla 4-4: Resultados colorimetría lámina de cartón

Muestra	X ₁	Y ₁	Z ₁	ΔE	Longitud de onda	Reflectancia (%)
Estándar	45,98	47,32	50,37	-	400	8,70
n ₁	47,75	50,17	52,61	15,10	400	13,80
n ₂	49,06	51,72	52,29	15,65	400	15,34
n ₃	50,21	52,80	53,12	16,07	400	15,85

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

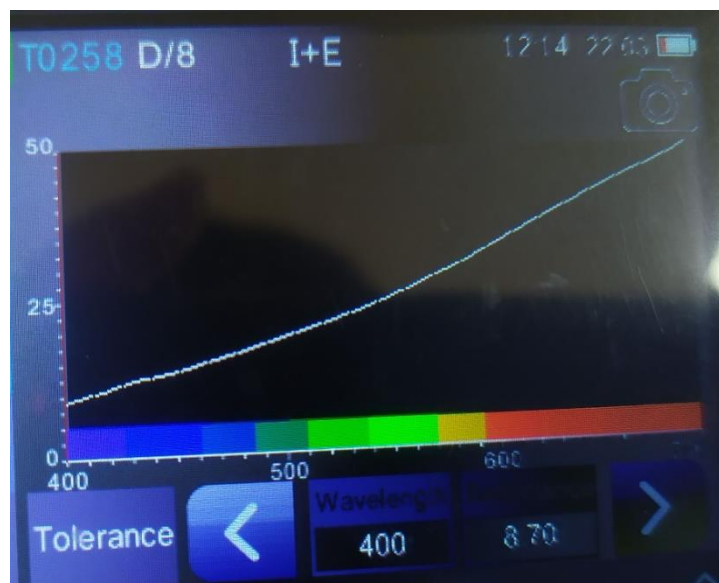


Figura 3- 4: Gráfica CIE XYZ del estándar de cartón.

Fuente: Pilco, Carlos. 2021.

La obtención de la coloración del cartón se realizó utilizando un espectrofotómetro, el cual permitió la determinación de valencias primarias, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. El patrón para la comparación fue una lámina de cartón comercial que arrojó los siguientes valores triestímulos X= 45,98; Y=47,32; Z= 50,37, estos al ubicarlos en el plano tridimensional CIE-1931 correspondieron al del color café.

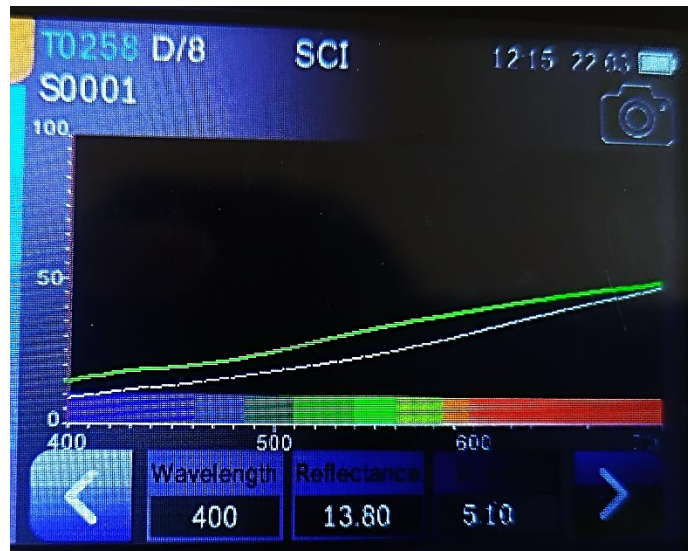


Figura 4-4: Gráfica CIE XYZ de la muestra n1

Fuente: Pilco, Carlos. 2021.

En la colorimetría del cartón los valores X, Y, Z del cartón reciclado difieren del estándar. Esta variación pudo deberse a que permaneció algunas trazas de tinta en la pulpa. Además, pudieron quedar restos de la solución alcalina y tensoactivo afectando la lectura del espectrofotómetro.

4.5. Resistencia a la ruptura en lámina de papel

Tabla 5-4: Resultados de resistencia a la ruptura de lámina de papel.

Muestra (papel)	Fuerza (N)	Área (cm ²)	Tensión (N/cm ²)	Elongación (%)
Estándar	62,27	0,145	429,44	10
m ₁	26,51	0,150	176,68	10
m ₂	16,74	0,120	139,25	10
m ₃	18,32	0,105	174,28	10

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

La muestra m₁ presentó la mayor resistencia a la ruptura por tracción cuyo valor fue de 176,68 N/cm² a comparación de las muestras m₂ y m₃ con valores de 139,25 N/cm² y 174,28 N/cm², respectivamente. Todos los ensayos se realizaron con una elongación del 10 %, lo que podemos denotar que entre la muestra m₁ y m₃ existe una semejanza en los valores de tensión a comparación de la muestra m₂ que tiene una considerable diferencia en el valor de tensión.

Por otro lado el estándar utilizado para comparación el cual presentó una mayor tensión, esto debido a las características de prensado y de calandrado que posee este papel a comparación del obtenido en este estudio (Bonilla, 2015, pp.1-2).

4.6. Resistencia a la ruptura en lámina de cartón

Tabla 6-4: Resultados de resistencia a la ruptura de lámina de cartón.

Muestra (cartón)	Fuerza (N)	Área (cm²)	Tensión (N/cm²)	Elongación (%)
Estándar	88,96	0,130	684,30	10
n ₁	3,90	0,135	28,89	10
n ₂	4,22	0,148	28,37	10
n ₃	3,21	0,126	25,39	10

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

En la lámina de cartón, correspondiente a la resistencia al rasgado se obtuvo un valor de 28,89 N/cm², este fue superior a comparación a las muestras n₂ y n₃ con valores de 28,37 N/cm² y 25,39 N/cm², respectivamente. Además, todos los ensayos se realizaron con un estiramiento del 10 %. De tal forma que entre la muestra n₁ y n₂ existe una semejanza en los valores de tensión a diferencia de la muestra n₃. Por otra parte las tensiones obtenidas en este estudio están muy alejadas del estándar esto debido a que el cartón es un material compuesto de varias láminas de papel por lo cual va a presentar una mayor resistencia a la tensión si comparamos con una sola lámina (Bonilla, 2015, pp.1-2).

4.7. Variables de calidad de las láminas de papel

De las láminas de papel se obtuvieron las variables de calidad como el gramaje y espesor. El espesor de las láminas estándar fue de 0,18 mm. Dicho valor fue inferior al del obtenido de las láminas de papel reciclado que tuvo un promedio de 1,31 mm. El gramaje a su vez fue 1,3 g/m² para el estándar y el obtenido en este estudio fue de 1,15 g/m² La diferencia presentada entre el patrón pudo darse a la utilización de la metodología, puesto que a escala industrial se utilizan máquinas especializadas y en este estudio se realizó con materiales y equipos de laboratorio. En los resultados obtenidos según (Valdiviezo, 2020, pp.110-111) fueron 1,56 g/m² como gramaje y 0,165 mm de espesor en las láminas de papel. En este Trabajo de Titulación los valores de gramaje y espesor fueron los presentados en la Tabla 30– 4.

Tabla 7-4: Resultados de variables de calidad de papel

Muestra	Gramaje (g/m²)	Espesor (mm)
Estándar	1,30	0,18
m ₁	1,13	1,34
m ₂	1,21	1,27
m ₃	1,10	1,31

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

4.8. Variables de calidad de las láminas de cartón

De las láminas de cartón reciclado se obtuvieron los valores de gramaje y espesor, que son las variables de calidad. Por tanto, el valor de espesor de la lámina patrón fue de 0,43 mm, siendo inferior al del cartón obtenido del procesamiento cuyo valor promedio fue de 1,36 mm.

Para el gramaje se obtuvo un valor del estándar de 1,20 g/m² y el obtenido en las láminas a escala laboratorio fue de 1,08 g/m² La diferencia encontrada posiblemente se dio en la etapa de prensado de la hoja debido a que aquí se compacta la pulpa de papel en un equipo especializado en cuanto al estándar haciendo que las fibras se distribuyan de una manera homogénea. En contraste en esta investigación la etapa de prensado fue manual con una presión no controlada.

Tabla 8-4: Resultados de variables de calidad de cartón.

Muestra	Gramaje (g/m²)	Espesor (mm)
Estándar	1,20	0,43
m ₁	1,04	1,47
m ₂	1,09	1,28
m ₃	1,12	1,32

Realizado por: Pilco, Carlos. 2021.

CONCLUSIONES

A escala de laboratorio se obtuvieron láminas de papel y cartón a partir de fibras recicladas, estas fibras fueron tratadas con un destintado en condiciones alcalinas para luego ser lavadas e ingresar a la etapa de formación, prensado y finalmente al secado.

Las variables del proceso para la obtención de papel a partir de papel y cartón reciclados fueron determinados mediante la experimentación, en el proceso de molienda y tamizado la variable que se determinó fue el diámetro de partícula igual a 300 μm tanto para el papel como para el cartón, seguido de una proporción 1:10 en el destintado de papel y 1:5 en el destintado del cartón esto con relación a la cantidad de solución alcalina con respecto a la materia prima. Además, para obtener un blanqueamiento óptimo de la pulpa de papel y cartón se hizo 3 repeticiones de la etapa de destintado y de lavado. Por consiguiente, la consistencia de la pulpa es la variable que define si la formación de la hoja será la ideal. Finalmente, la etapa de secado se efectuó en un tiempo de 16 horas y una temperatura de 35 °C.

El diseño del proceso fue validado mediante la caracterización de las láminas de papel y cartón. Los estándares utilizados para esta validación estuvieron sujetos a normativa INEN. Los parámetros medidos fueron el gramaje bajo la normativa NTE INEN 1974:2013, el calibre del papel, NTE INEN 1423:2013 y la resistencia a la tracción en seco regido por la norma NTE INEN-ISO 1405:2013. El gramaje de papel tuvo un valor promedio de 1,15g/m², el cartón a su vez presentó un valor de 1,08 g/m². El calibre de papel fue de 1,36 mm y del cartón 1,36 mm. Finalmente la resistencia a la tracción presentó un valor promedio en el papel de (163,40 N/cm²) y en el cartón (27,55 N/cm²), con lo cual denotamos que los valores obtenidos en esta investigación son diferentes a la establecida a la normativa.

Se diseñó el proceso de obtención de 84 Kg de papel y cartón a partir de fibras recicladas, para lo cual se dimensionó los siguientes equipos: mesa de selección, triturador industrial, mezclador, tanque de lavado, formadores de hojas, prensa hidráulica y secador de bandejas a escala industrial, estos equipos deben ser fabricados con acero inoxidable acero inoxidable AISI 304 y ASTM A240 resistentes a la corrosión y tiempo de vida útil de tiempo prolongado.

RECOMENDACIONES

Para no utilizar los blanqueadores de pulpa de papel, se recomienda realizar 3 repeticiones de la etapa de destintado y lavado de la pulpa. Con esto se obtiene un blanqueo solo a base de la solución alcalina y agua.

En la etapa de formación de la hoja, a más de la pulpa y el agua que intervienen en la mezcla, se recomienda agregar pegamento como el acetato de polivinilo el cual ayuda a unir de una mejor manera a las fibras aportando en una mejor compactación al papel y al cartón.

Después de la etapa de secado para ayudar a las fibras tengan mayor elasticidad y el espesor de las láminas disminuya, se recomienda pasar por una etapa de calandrado a las láminas de papel y cartón con ello aumenta sus características de resistencia.

Se recomienda tener un tratamiento de las aguas residuales generadas en este proceso con lo cual se puede generar agua reutilizable, aprovechando al máximo los recursos hídricos.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, P. y SEILLES, M. *Información Ambiental en hogares*. [en línea]. Quito-Ecuador: Dirección De Comunicación Social. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Documento_tecnico_Modulo_Ambiental_Hogares_2014.pdf

BAJPAI, P. Basic Overview of Pulp and Paper Manufacturing Process. Green Chemistry and Sustainability in Pulp and Paper Industry. *Cham: Springer International Publishing* [en línea], 2015., pp. 11-39. ISBN 978-3-319-18744-0. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-18744-0_2

BAJPAI, P. Challenges and Opportunities for the Pulp and Paper Industry. *SciTech Connect* [en línea], 2018. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <http://scitechconnect.elsevier.com/challenges-and-opportunities-for-the-pulp-and-paper/>

BONILLA, F. Estudio de la tensión de papel Tissue en la Empresa Familia Sancela S.A. planta Lasso y su incidencia en la compactación del papel higiénico [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. 2015. pp. 1-169. [Consulta: 31 agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/13873>

BRITO, H. Texto Básico de Operaciones Unitarias I. *ResearchGate* [en línea], 2017, no. June 2000, pp. 67. [Consulta: 31 agosto 2021]. [Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/313673724>.

CALAMEO. *El Papel*. [Blog], 2005. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/00097467037d9d11a79fb>.

CÁRDENAS, L., & GONZÁLEZ, C. Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET. [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2013. pp. 1-106. [Consulta: 31 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3218/1/96T00222.pdf>

CEMPRE. *Parte 3 Reciclaje de otros componentes 3.1 Papel 1 ¿Qué es el papel?* [Blog], 2021, [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: http://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_3.1_papel.pdf

CHO, B., RYU, J., & SONG, B. Improvement of ink and heavy metal removal from old corrugated container stock by alkali kneading. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [en línea], 2012. 18(2). pp. 697-701. ISSN 1226-086X. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X11003212>

CUADRADO ÁLVAREZ, Gabriela Alejandra. Diseño de un proceso industrial para la elaboración de mermelada a partir del zapallo (*Cucurbita maxima*) para la Asociación ASOSAMBAY de la parroquia Bayushig. [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2019. pp. 70-90. [Consulta: 31 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11059>

EFE. INEC: Menos de la mitad de ecuatorianos clasifican residuos. [Blog], 2018. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.larepublica.ec/blog/2018/09/29/inec-menos-mitad-ecuatorianos-clasifican-residuos/>

EKOS. Zoom papel y cartón: Un sector que complementa el desempeño eficaz de otras industrias [Blog], 2021. [Consulta: 6 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.ekosnegocios.com/articulo/zoom-papel-y-carton-un-sector-que-complementa-el-desempeno-eficaz-de-otras-industrias>.

GARRIDO, Y., MERINO, L. & COLCHA, R. Casos prácticos resueltos de contabilidad de costos por órdenes de producción con aplicación de NIIF [en línea]. Riobamba-Ecuador: La Caracola. [Consulta: 13 diciembre 2020]. ISBN 978-9942-35-059-6. Disponible en: <https://bit.ly/3HN1qZ9>

GOOGLE MAPS. Ibarra. [Blog], 2018. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3y84CeO>

GRIFUL, E. & CANELA, M. Gestión de la calidad. [Blog], 2002. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3ybwluZ>

INEN 1397. Papeles y Cartones. Determinación De la Humedad. [en línea]. 1986. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1397.pdf>

INEN 1399. Papeles y Cartones. Determinación Del Espesor. [en línea], 2013. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1399.pdf>

INEN 1405. *Papeles y Cartones. Determinación De La Resistencia A La Ruptura Por Tracción En Seco.* [en línea], 2013. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1405.pdf>.

INEN 3588. Especias y condimentos. Determinación del grado de finura de la molienda. tamizado manual (Método De Referencia). [en línea], 2014. [Consulta: 31 enero 2020]. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_3588_extracto.pdf

LEÓN, C. & FUENTES, M. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cartagena, Colombia. 2012. pp. 70-90. [Consulta: 31 agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/112>

LUÍS, G. & RÍOS, A. Determinación del calor de vaporización del agua. *Scientia et Technica Año XVI* [en línea], 2011, 49(0122-1701), pp. 163-166. ISSN 0122-1701. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3n9gmaw>

MA, Y.; et al. Upcycling of waste paper and cardboard to textiles. *Green Chemistry* [en línea], 2016, 18(1), pp. 858. [Consulta: 07 enero 2021]. Disponible en: www.rsc.org/greenchem.

MONZÓN, P. Lineamientos para la valorización de residuos sólidos en una industria de fabricación de agroquímicos. *Agua, Saneamiento & Ambiente* [en línea], (2020), 15(1), pp. 6–13. [Consulta: 02 marzo 2021]. Disponible en: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1125>

QUINTÁNS, L. Capítulo 3. Materiales y métodos. *Reología de productos alimentarios* [en línea], 2009, pp. 71-77. [Consulta: 02 marzo 2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3QHnNn5>

RAMIREZ, A. *Reciclaje de otros componentes* [blog], 2010. [Consulta: 02 septiembre 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3b8L8gY>

RECIPAZ. *Estadística empresarial.* [blog], 2020. [Consulta: 02 septiembre 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3OfiTMo>

SECCHI, S.; et al. Experimental and environmental analysis of new sound-absorbing and insulating elements in recycled cardboard. *Journal of Building Engineering* [en línea], 2016. 5(2), pp. 1-12. ISSN 23527102. [Consulta: 02 junio 2020]. Disponible en: 10.1016/j.job.2015.10.005

VALDIVIESO VALDIVIESO, Juan Enrique. Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de Maíz (*Zea mays L. var. Ceratina*) [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2020. pp. 102-120. [Consulta: 24 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13964/3/96T00575.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA ETAPA DE DESTINTADO DE LA PULPA DE PAPEL Y CARTÓN.



EMPRESA PÚBLICA
DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO
Trabajamos para servirte

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LA EPAA-AA

DIRIGIDO PARA:
SR. CARLOS PILCO
ESTUDIANTE DE INGENIERIA QUÍMICA DE LA ESPOCH
REMITIDO POR:
ING. SANTIAGO ALMEIDA
TÉCNICO DE LABORATORIO

MUESTRAS:

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
M1	SOLUCIÓN DE DESTINTADO DEL PAPEL
M2	SOLUCIÓN DE DESTINTADO DEL CARTON

RESULTADOS:

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	MUESTRA		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
			M1	M2	
TIPO DE AGUA			SERVIDA	SERVIDA	-
MUESTREO	H:MIN		8:00 AM	8:00 AM	-
FECHA	DD/MM/AA		13/05/2021	13/05/2021	-
COORDENADAS	X		-	-	-
	Y		-	-	-
	ALTURA	msnm	-	-	-
pH	UpH	HACH 8156	13,27	13,36	6-9
TEMPERATURA	°C	-	17,4	16,9	<40,0
COLOR TOTAL	mg/L	HACH 8167	4,4	2,2	NO REPORTA
CIANUROS	mg/L	HACH 8027	0,014	<0,001	1
HIERRO TOTAL	mg/L	HACH 8008	<0,01	0,27	25
ARSÉNICO	mg/L	HACH 8013	0	0	0,1
DQO	mg/L	HACH 8000	3780	15150	500
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	HACH 8271	43050	105900	1600

REGISTRO OFICIAL EDICIÓN N° 387 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, TABLA N° 8 REFERIDA A LOS LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO.

Atentamente,

 ANTONIO ANTE
 ING. SANTIAGO ALMEIDA
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO B: NORMA NTE INEN-ISO 536:2013. PAPELES Y CARTÓN.



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN- ISO 536:2013

NÚMERO DE REFERENCIA ISO 536:2012 (E)

PAPEL Y CARTÓN - DETERMINACIÓN DEL GRAMAJE

Tercera Edición

PAPER AND BOARD - DETERMINATION OF GRAMMAGE

Third Edition

DESCRIPTORES: Papel, cartón, determinación, gramaje.
ICS: 85.060

**ANEXO C: NORMA NTE INEN-ISO 1405:2013 PAPELES Y CARTONES.
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA RUPTURA POR
TRACCIÓN EN SECO**



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1405:2013
Primera revisión

**PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DE LA
RESISTENCIA A LA RUPTURA POR TRACCIÓN EN SECO**

Primera edición

PAPER AND PAPERBOARD. DETERMINATION OF RESISTANCE TO CLEAVAGE BY DRY TRACTION

First edition

DESCRPTORES: Papel, cartón, ruptura, tracción en seco.
CJ 07.01-309
CDU: 675-017:675-633
ICS: 85.080

**ANEXO D: NORMA NTE INEN-ISO 1399:2013. PAPELES Y CARTONES.
DETERMINACIÓN DEL ESPESOR.**



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1399:2013
Primera revisión

PAPELES Y CARTONES. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR

Primera edición

PAPER AND PAPERBOARD. DETERMINATION OF THICKNESS

First edition

DESCRIPTORES: Papel, cartón, método, espesor.
CDU: 678.620.1
QU: 07.01-303
ICS: 85.060

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL PAPEL RECICLADO

a)



b)



c)



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA Pilco Carlos</p>	Caracterización físico química de la materia prima.		
<p>a) Determinación de humedad</p> <p>b) Determinación de cenizas</p> <p>c) Determinación de consistencia</p>	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para eliminar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	-----	30-08-2021

ANEXO F: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL CARTÓN RECICLADO

d)



e)



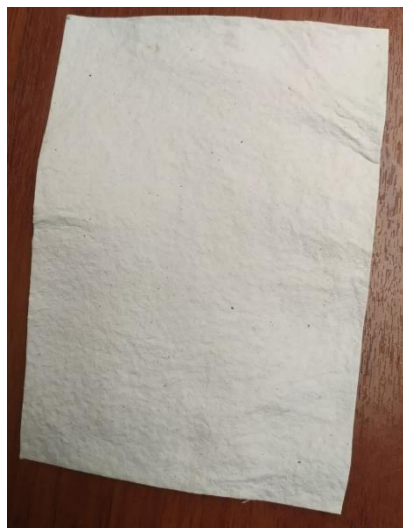
f)



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA Pilco Carlos</p>	Caracterización físico química de la materia prima.		
d) Determinación de humedad	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para eliminar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
e) Determinación de cenizas f) Determinación de consistencia			2	-----	30-08-2021

ANEXO G: LÁMINAS DE PAPEL Y CARTÓN RECICLADO OBTENIDAS AL FINAL DEL PROCESO

g)



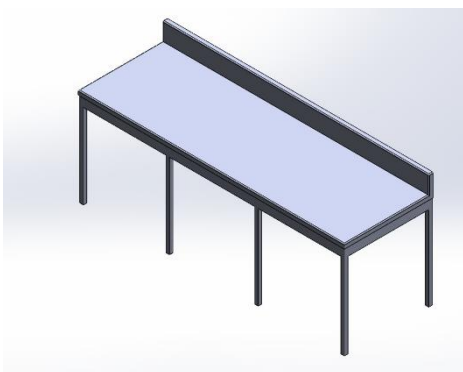
h)



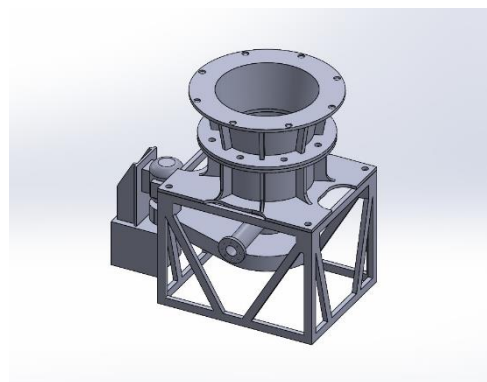
NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA Pilco Carlos</p>	Caracterización físico química de la materia		
g) Lámina de papel h) Lámina de cartón	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para eliminar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		prima.		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	-----	30-08-2021

ANEXO H: DISEÑO DE EQUIPOS

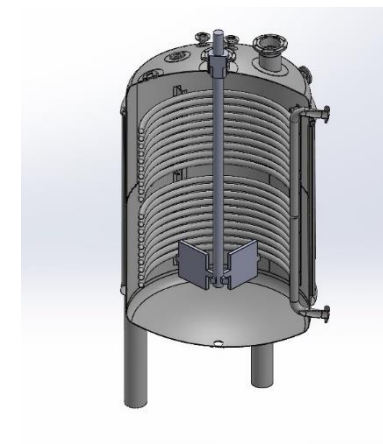
i)



j)



k)



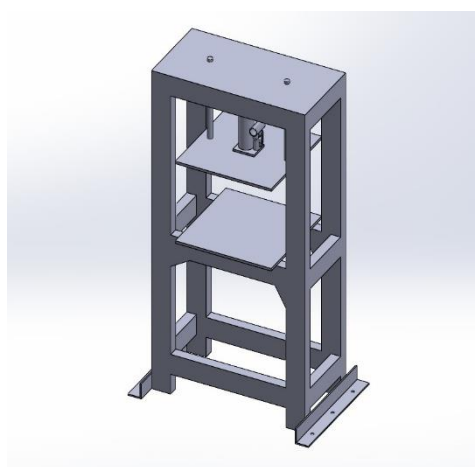
NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA Pilco Carlos</p>	Diseño de equipos 1		
<p>i) Mesa de selección j) Triturador k) Mezclador</p>	<p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para eliminar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información </p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4	-----	30-08-2021

ANEXO I: DISEÑO DE EQUIPOS

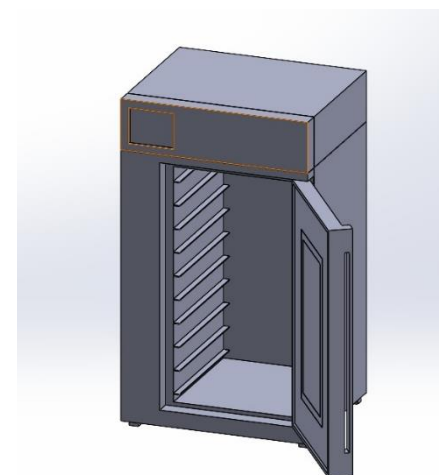
l)



m)

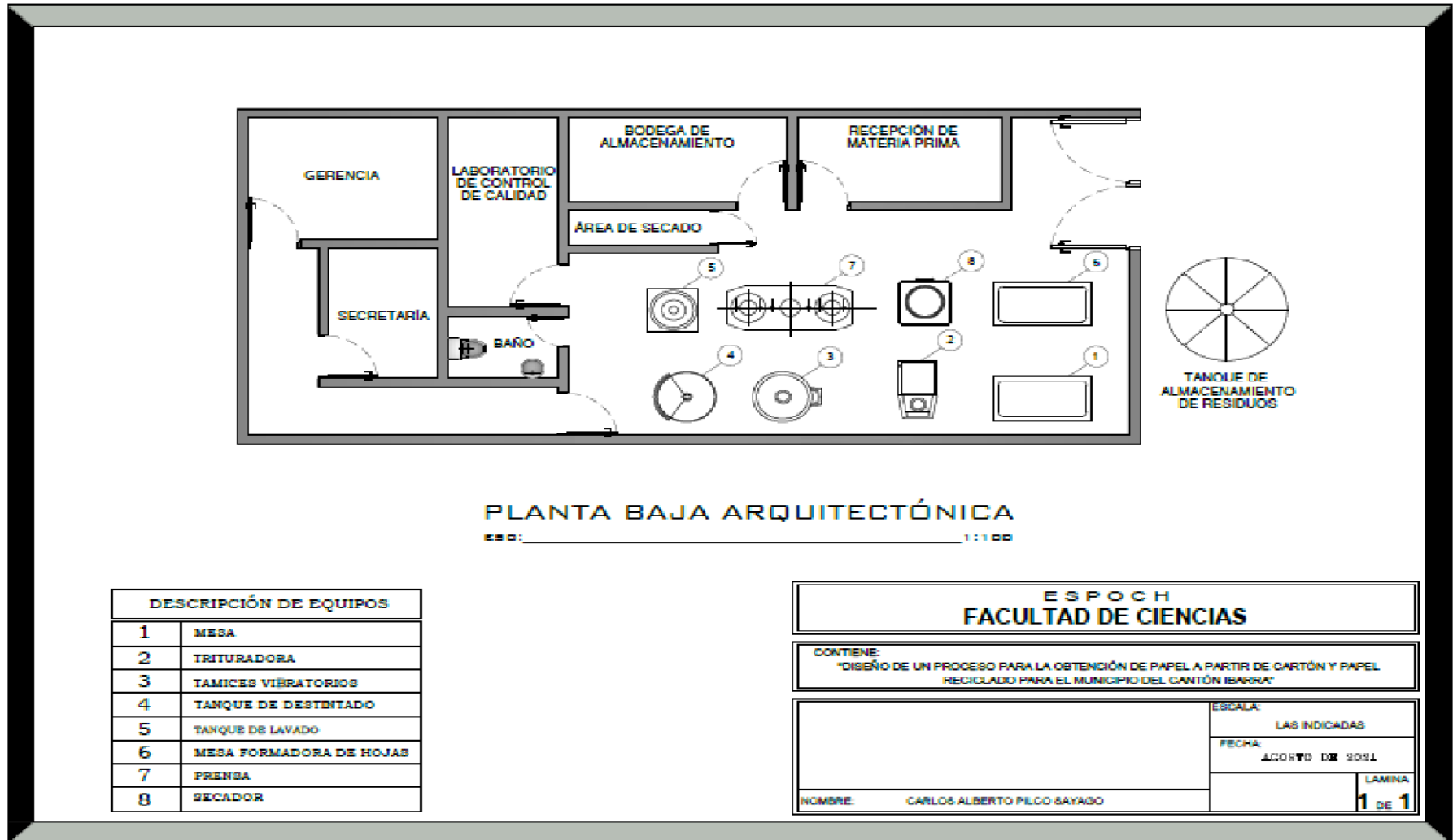


n)



NOTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA Pilco Carlos </p>	Diseño de equipos 2		
i) Tanque de lavado j) Prensa hidráulica k) Secador de bandejas	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para eliminar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	-----	30-08-2021

ANEXO J: DISTRIBUCIÓN DE PLANTA



DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	
1	MESA
2	TRITURADORA
3	TAMICES VIBRATORIOS
4	TANQUE DE DESTINTADO
5	TANQUE DE LAVADO
6	MESA FORMADORA DE HOJAS
7	PRESA
8	SECADOR

ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS	
CONTIENE: "DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL A PARTIR DE CARTÓN Y PAPEL RECICLADO PARA EL MUNICIPIO DEL CANTÓN IBARRA"	
	ESCALA: LAS INDICADAS
	FECHA: AGOSTO DE 2021
NOMBRE: CARLOS ALBERTO PILCO SAYAGO	LAMINA 1 DE 1



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Carlos Alberto Pilco Sayago
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIRCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.06.30 09:28:53 -05'00'



1354-DBRA-UTP-2022